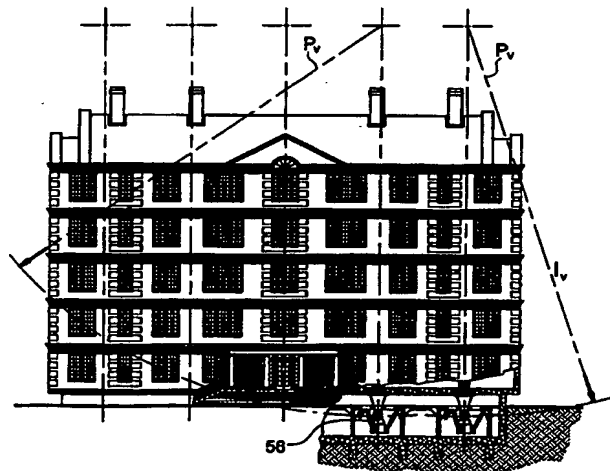


**PCT**WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

<b>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> :</b> <b>E04H 9/02, E02D 27/34</b>		<b>A1</b>	<b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/09278</b>
			<b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:</b> 25. Februar 1999 (25.02.99)
<b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/EP98/05158		<b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).	
<b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 13. August 1998 (13.08.98)			
<b>(30) Prioritätsdaten:</b> 197 34 993.5      13. August 1997 (13.08.97)      DE			
<b>(71)(72) Anmelder und Erfinder:</b> BIERWIRTH, Friedhelm [DE/DE]; Tilsiter Strasse 23, D-45964 Gladbeck (DE).			
<b>(74) Anwälte:</b> MENGES, Rolf usw.; Ackmann & Menges, Postfach 14 04 31, D-80454 München (DE).			

**Veröffentlicht**  
*Mit internationalem Recherchenbericht.***(54) Title:** EARTHQUAKE PROTECTION CONSISTING OF VIBRATION-ISOLATED MOUNTING OF BUILDINGS AND OBJECTS USING VIRTUAL PENDULUMS WITH LONG CYCLES**(54) Bezeichnung:** ERDBEBENSICHERUNG DURCH SCHWINGUNGSENTKOPPELTE LAGERUNG VON GEBÄUDEN UND OBJEKTEN ÜBER VIRTUELLE PENDEL MIT LANGER PERIODENDAUER**(57) Abstract**

The invention relates to an earthquake protection system which is entirely immune to seismic activity. The inventive system supports buildings and other objects on virtual pendulums ( $P_v$ ) configured according to the invention in the form of earthquake protection modules (56). In the case of relatively low buildings, the limit load support points of said earthquake protection modules (56) move in the manner of the oscillating end of a long pendulum with a long cycle of its own, so that the object being supported is efficiently isolated from the essentially more frequent ground vibrations. The functional behaviour of the system is not affected by the extent of the base acceleration or the frequency of the ground vibration. Even in the case of a large earthquake, the object will remain still. The system can be configured for any load and any conceivable scale of vibration. The invention describes four different examples of solutions which apply the inventive method, variants and devices derived therefrom for various applications, devices which are needed to provide support against wind force and for centring an object which is subject to wind force and has an oscillating base, and devices for isolating vertical ground oscillations.



### (57) Zusammenfassung

Das seismisch völlig immune Schutzsystem stützt Gebäude und andere Objekte auf nach dem erfindungsgemäßen Verfahren gestaltete virtuelle Pendel (P<sub>v</sub>) in Form von Erdbebenschutz-Modulen (56), die bei geringer Bauhöhe ein Bewegungsverhalten der Traglaststützpunkte besitzen wie das schwingende Ende eines langen Pendels mit langer Periode der Eigenschwingung, wodurch das getragene Objekt von den wesentlich höher frequenten Bodenschwingungen effizient entkoppelt wird. Das Funktionsverhalten des Systems wird nicht beeinflusst von der Größe der Basisbeschleunigung und der Frequenz der Bodenschwingung. Selbst bei größter Magnitude des Erdbebens verbleibt das getragene Objekt in Ruhelage. Das System kann für jede Last und jede erwartbare Schwingamplitude der Basis ausgelegt werden. Beispielhaft werden vier verschiedene Lösungen mit Anwendung des Verfahrens und daraus abgeleitete Varianten und Vorrichtungen für verschiedene Anwendungen und zusätzlich erforderliche Vorrichtungen zur Windkraftabstützung und Zentrierung des Objekts unter Windlast bei oszillierender Basis sowie Vorrichtungen zur Entkopplung von vertikalen Bodenschwingungen beschrieben.

### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

## Erdbebensicherung durch schwingungskoppelte Lagerung von Gebäuden und Objekten über virtuelle Pendel mit langer Periodendauer

### 1 Anwendungsbereich der Erfindung

#### 5 1.1 Allgemeine Anwendung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und darauf basierende Vorrichtungen als Erdbebenschutz zur Schadensverhinderung an Gebäuden und sonstigen Objekten.

10 Die erfindungsgemäßen Lasttrag-Vorrichtungen, neuartige Erdbebenschutz-Module sind relativ einfach auszuführende Tragstrukturen, die jeweils einen Laststützpunkt eines Gebäudes oder anderen Objekts tragen, z.B. jeweils anstelle einer Säule.

Die Erdbebenschutz-Module auf der Basis virtueller Pendel können für sehr verschiedene Anwendungen entworfen werden zur Abstützung von leichten bis zu schwersten Objekten.

15 Diese Erdbebenschutz-Module basieren auf einem neuen Verfahren, virtuelle Pendel zu gestalten und sind besonders vorteilhaft einzusetzen zur erdbebenunempfindlichen Lagerung und Stützung von Gebäuden und Strukturen aller Art, von Mobilheimen bis zu Wohnhäusern, Einkaufszentren, Parkhäusern, Krankenhäusern, Wolkenkratzern, Türmen, Brücken, Hochstraßen, Wasser-Hochbehälter, Lagertanks, Silos, Seilbahnen und Seilbahnmasten, Hochspannungsmasten, Beleuchtungseinrichtungen, Industrie-, Chemie-  
20 und Nuklear-Anlagen, Rohrbrücken und hochgelegte Rohrstraßen, Pipelines oder sonstiger Objekte, um sie von den horizontalen Erdbebenbewegungen und Beschleunigungen zu isolieren und vor den daraus hervorgerufenen Kräften und den zerstörerischen Einwirkungen zu schützen.

25 Besonders bei der Errichtung von sicherheitssensitiven Anlagen, bei denen Zerstörungen oder Beschädigungen zu weitergehenden Folgeschäden führen können, wie bei nukleartechnischen Einrichtungen und Chemieanlagen mit gefährlichen Stoffen hat die Sicherung gegen Erdbebenshäden eine besonders wichtige Bedeutung.

Das System ist auch besonders für Brücken geeignet. Es werden die Probleme völlig beseitigt, für die bisher bekannte Systeme keine Lösung bereitstellen.

30 Auch bringt die Anwendung des Erdbebenschutz-Systems Vorteile bei Industrieeinrichtungen mit empfindlichen Produktionsprozessen, wie in der Chip-Fertigung.

Der Schutz der Objekte ist hierbei so weitgehend, daß die zu schützenden Gebäude oder Anlagen von der Bodenbewegung völlig isoliert werden und auf derselben Stelle in Ruhelage bleiben, selbst bei Erdbeben größter Magnitude.

35 Der so weitgehende Schutz wäre auch besonders nützlich bei Krankenhäusern, die bei Erdbeben nicht schnell evakuiert werden können und die im Katastrophenfall ungestört in Funktion bleiben können, wenn bereits Katastrophenopfer medizinisch zu versorgen sind. Operationen würden sogar während eines starken Nachbebens nicht behindert.

Die Anwendung der vorliegenden Erfindung verringert die Gefahr der Bodenverflüssigung, die bei Erdbeben und bestimmten Bau-Untergründen auftreten kann, in hohem Maße, weil die reaktive Wirkung der Gebäudemasse auf den Untergrund bei Bodenschwingungen auf extrem geringe Werte reduziert wird.

- 5 Die Wirkung einer Explosion in der Nähe eines durch ein System entsprechend der vorliegenden Erfindung gestützten Objekts wird ebenfalls gemindert.

Hängende Objekte wie Beleuchtungseinrichtungen, von denen Brandgefahren und Gefährdungspotential ausgehen, lassen sich durch Aufhängung an virtuellen Pendeln auch vor Beschädigung oder Zerstörung schützen.

- 10 Objekte auf Pfählen und Masten, die durch Erdbeben auch gefährdet sind, können durch das erfindungsgemäße Verfahren auch geschützt werden.

Schwingungstilgung an Türmen, hohen Masten und Industrie-Kaminen durch aktiv oder passiv bewegte Massen läßt sich ebenfalls vorteilhaft mittels virtueller Pendel erreichen.

- 15 Das Erdbebenschutz-Modul auf der Basis virtueller Pendel ist ein Basis-Isolations-System, eine kompakte, passiv wirkende, lasttragende Vorrichtung, die im Untergeschoß oder Erdgeschoß eines Gebäudes eingebaut wird. Das System verhindert die Übertragung von Schwingungen und Stößen des Erdbodens auf das gestützte Objekt bei Erdbeben. Durch das Erdbebenschutz-Modul wird ein Gebäude von allen Bewegungen des Untergrunds entkoppelt.

- 20 Zusätzlich hat das System folgende Charakteristiken: Es zentriert sich selbst und erlaubt keine horizontalen Verschiebungen durch geringere Kräfte, die durch Wind oder Sturm verursacht werden. Für hohe Gebäude verhindert vertikale Steifheit eine Nickneigung. Bei Gebäuden bis zu einem bestimmten Verhältnis von Höhe zu Breite kann wahlweise eine weitere Komponente eingebaut werden, um auch vertikale Schwingungen zu absorbieren.
- 25 Das System kann für jede notwendige horizontale Schwingamplitude ausgelegt werden. Das Erdbebenschutz-Modul läßt sich wartungsfrei gestalten.

- Bei geringer Bauhöhe ermöglicht ein solches Erdbebenschutz-Modul dem getragenen Objekt eine große Schwingweite in allen Richtungen und hat eine lange Periodendauer der Eigenschwingung. Die maximal auf den Baukörper oder das getragene Objekt einwirkenden
- 30 Beschleunigungen werden reduziert auf Werte kleiner als 0,01g. Dies ist mathematisch ermittelt und das System danach auslegbar. Die Erwartungen wurden durch Modell-Versuche auf einem Rütteltisch auf Anhieb bestätigt.

- In einem extrem starken Erdbeben, wie sie gelegentlich auch in gewissen Regionen vorkommen, reicht der Schutz bisheriger Schutzsysteme und der konventionellen Design-
- 35 Methoden entsprechend den Bauvorschriften nicht aus, Zerstörungen sind beträchtlich.

- Im Gegensatz hierzu hat bei Anwendung des Erdbebenschutz-Systems auf der Basis virtueller Pendel die Magnitude eines Bebens, die Schwingweite und die Schwingfrequenz des Bodens keinen Einfluß auf das Verhalten des Systems und die geradezu ruhende Lage eines durch die neuen Erdbebenschutz-Module mit langer Periodendauer der
- 40 Eigenschwingung getragenen Objekts.

## 1.2 Nachrüstung bestehender Häuser

Die nachträgliche Ausrüstung mit Erdbebenschutz-Modulen ist ebenfalls möglich.

Bei bestehenden Gebäuden in Skelettbauweise ist die Nachrüstung grundsätzlich gut möglich, und in vielen Fällen läßt sie sich relativ einfach durchführen.

- 5 Bei alter Bausubstanz in Massivbauweise ist die Erdbebenertüchtigung durch Nachrüstung grundsätzlich auch möglich. Mit konventionellen Mitteln ist eine solche Maßnahme jedoch mit einem relativ hohen Aufwand verbunden.

- 10 Mit einem neuartigen in Entwicklung stehenden Verfahren und dafür vorgesehenen speziellen Maschinen und Ausrüstungen für die Nachrüstung mit Erdbebenschutz-Modulen wird es möglich werden, in einem hochmechanisierten Arbeitsablauf die Erdbebenertüchtigung von bestehenden und auch antiken Gebäuden und anderen Objekten mit dieser neuen Erdbebenschutz-Technologie wirtschaftlich und rationell mit vertretbaren Kosten durchzuführen. Dieses innovative Nachrüstverfahren wird bei Gebäuden sowohl auf normalen Böden als auch auf Felsgrund gebauten Häusern anwendbar sein.

## 15 2 Hintergrund

Die Kontinentalplatten-Verschiebung, ein Phänomen der Geophysik, erzeugt immer wieder vorkommende Erdbeben.

### Weltweites Problem durch Erdbeben

- 20 Da Erdbeben sehr häufig viele Todesopfer fordern und immense volkswirtschaftliche Schäden verursachen, ist eine Verbesserung der Sicherheit gegen Erdbebenauswirkungen wünschenswert. Es sollten Möglichkeiten geschaffen werden, die geeignet sind, zukünftig das Problem weitgehend zu entschärfen. Allein in diesem Jahrhundert sind ca. 1,6 Millionen Menschen ums Leben gekommen. Weltweit sind mehr als 40 Länder von Erdbeben ständig bedroht.

- 25 Diesen Gefahren soll mit der vorliegenden Erfindung der Schrecken genommen werden. Angewandte Mechanik aus der Physik macht dies möglich und entschärft die Gefährdung aus der Geophysik.

## 3 Stand der Technik

### 3.1 Bauvorschriften zur Erdbebensicherheit

- 30 Die Gebäude-Konstruktionsrichtlinien in erdbebengefährdeten Regionen berücksichtigen in der Regel eine festgelegte geringere Erdbebenstärke, wie sie aus statistischen Betrachtungen in häufigeren Vorkommnissen wahrscheinlich ist, und bestimmen danach die Auslegung für die notwendige Festigkeit der Gebäudestrukturen.

Hierbei werden zunehmend besonders Möglichkeiten berücksichtigt, die darauf abzielen, in bestimmten Bereichen der Gebäudestruktur Elastizitäten vorzusehen, wodurch bei elastischen Verformungen der Gebäudetragstruktur die Kräfte, die durch die Struktur zu übertragen sind, örtlich gemindert werden können, dadurch daß die darüber befindlichen Masseanteile des Gebäudes durch die elastischen Verformungen gegenüber der einleitenden Bewegung zurückbleiben und hierdurch die Spitzenwerte der Beschleunigungen reduziert werden.

Bei einem Erdbeben, bei dem die den Bauvorschriften zugrundeliegenden Belastungswerte überschritten werden, ist Beschädigung oder Zerstörung der Gebäude und Gefahr für Menschenleben zu erwarten, wie Erdbebenvorkommnisse der letzten Zeit deutlich gezeigt haben.

Man muß somit feststellen, daß die Methoden der erdbebensicheren Auslegung der Gebäude durch entsprechende Berechnung und Dimensionierung bei stärkeren Beben unzureichend sind.

Nach den Erdbebensicherheits-Bauvorschriften werden sogenannte Referenzbeben definiert, für die nach den Methoden der Auslegungsberechnung eine Sicherheit für die zugrundegelegten Lastfälle nachgewiesen werden muß.

Die hierbei zu treffenden Annahmen bezüglich des Gebäudeverhaltens und der Struktur-Elastizitäten haben einen hohen Grad an Unsicherheit.

Die diesen Referenzbeben zugrundeliegenden Beschleunigungen werden bei realen Beben häufig überschritten, mitunter auch erheblich.

Eine Auslegung auf solche Extremfälle wäre ohnehin technisch nicht durchführbar. Bei Extrembeben versagen alle konventionell gestalteten Strukturen.

Die bisherige Meinung der Fachwelt, daß die zerstörerischen Einflüsse der Erdbodenbewegungen und der hierdurch einwirkenden Kräfte auf ein Bauwerk durch eine äußerst feste Konstruktion oder durch Anwendung von elastischen und schwingungsdämpfenden Gliedern ausgeschaltet werden können, hat sich augenscheinlich nicht bestätigt.

Auch die Vorstellung, daß durch Reibung bzw. Dämpfung ein schädlicher Einfluß aus der Erdbewegung gemindert werden kann, erscheint aussichtslos.

Die Berechnungsmethoden nach den gesetzlichen Baunormen gehen von stark vereinfachten Lastfall-Modellen aus. Diese vereinfachten Verfahren liefern auch ungenügende Genauigkeit der Resultate. Es ist auch nicht möglich, durch Analyse herauszufinden, welches Bauteil als erstes versagen wird und damit ein Einstürzen des Gebäudes einleitet. Diese Auslegungsberechnungsmethoden für Gebäude können allenfalls dazu dienen, daß in jeweiligen Regionen regelmäßig wiederkehrende schwache Erdbeben von den Gebäuden ohne gefährdende Schädigungen ertragen werden.

Die Schlußfolgerung daraus ist, daß diese Methoden unzureichend sind, wirklich erdbebensichere Gebäude zu erstellen.

Die umfangreichen Zerstörungen durch Erdbeben weltweit auch in jüngster Zeit, die materiellen Schäden und nicht zuletzt die Opfer an Menschenleben machen deutlich, daß es Ziel sein muß, eine Verbesserung des Erdbebenschutzes zu erreichen.

### 3.2 Bewertung konventioneller Methoden zur Erdbebensicherheit

5 Der Schwerpunkt eines Baukörpers liegt durchweg oberhalb seiner Grundfläche. Die Bewegung der Basis muß also auf den Schwerpunkt des Gebäudes übertragen werden. Die durch den Baukörper zu leitende Kraft in Form von Schub ist die Reaktion der Trägheit der Masse in der Größe des Produkts aus Masse und der auf die Masse einwirkenden Beschleunigung.

10 Abhängig von dem zur Anwendung gelangten Baustoff können bei irgendeiner Größe der auftretenden Beschleunigung die Grenzwerte der Festigkeit der Struktur erreicht und überschritten werden.

Deswegen ist bei einer üblichen starr mit der Basis verbundenen Gebäudestruktur keine wirkliche Erdbebensicherheit erreichbar.

15 Bei irgendeiner Erdbebenstärke und der damit verbundenen Beschleunigung wird jede Gebäudestruktur, die über Fundamente fest mit der Basis verbunden ist oder nur geringe Verschiebbarkeit gegenüber der Basis zuläßt, versagen müssen.

Auch die Vorstellung, daß durch Reibung bzw. Dämpfung ein schädlicher Einfluß aus der Erdbebenbewegung gemindert werden kann, erscheint bei stärksten Beben aussichtslos.

20 Von der Energie, die durch die Erdbebenbewegung in das Gebäude transferiert wird, kann der Anteil, welcher der Zerstörungsarbeit durch Wegführen, oder richtiger ausgedrückt, durch Umwandlung in Wärme z. B. durch Dämpfung entzogen werden könnte, nur bei einem relativ geringen Prozentsatz bleiben. Bei starken Beben kann eine angewendete Dämpfungsreibung die zerstörerische Wirkung eines Erdbebens nicht verhindern.

25 Moderne Lösungen, wie elastische Stahlrahmen-Konstruktionen, die einen kostspieligen Schaden beim Northridge-Erdbeben erlitten, und Basis-Isolations-Systeme, sollen einen gewissen Prozentsatz der Energie absorbieren oder wegleiten, die die Erdbewegungen auf die Struktur eines Gebäudes übertragen. Jüngste Studien des U.S. Geological Survey und des California Instituts of Technology (CalTech) drücken die Befürchtung aus, daß auch  
30 diese Art von Gebäuden möglicherweise beschädigt werden oder sogar zusammenbrechen könnten im Falle eines wirklich starken Erdbebens, wenn sie nahe genug zum Epizentrum liegen.

### 3.3 Fundament-Isolation der Gebäudestruktur

Das Bemühen, die Erdbebensicherheit für Gebäude zu erhöhen, hat zu einer großen Zahl  
35 von neuen Lösungen geführt, die ihren Niederschlag finden in den Patent-Veröffentlichungen.

Unter den technischen Lösungen zur Sicherung von Gebäuden gegen Erdbebenschäden sind Einrichtungen bekannt, die zusätzlich zur üblichen Strukturauslegung und Bemessung nach Regelwerken zur Anwendung kommen, die das Gebäude vom Fundament trennen und

Eine Gruppe von technischen Lösungen, die zu Fundament- oder Basis-Isolutions-Systemen gehören, ermöglichen dem Baukörper gegenüber der Basis eine Beweglichkeit in gewissen Grenzen. Alle Lösungen übertragen durch Reibung und Dämpfungskräfte in das getragene Gebäude Schubkräfte, die bei hohen Frequenzen und großen Schwingweiten auch kritisch werden können. Einige dieser Lösungen übertragen keine negativen Vertikalkräfte und sind damit nicht für schlanke Hochbauten und Türme geeignet.

Bei einer Art der Fundament-Isolation wird der Baukörper auf horizontal elastischen Blöcken gelagert, die aus horizontal geschichteten Lamellen aus wechselweise Stahl und Kautschuk bestehen. ( US-Patents 4,527,365 ; 4,599,834 ; 4,593,502 ) Diese Blöcke haben vertikal eine hohe Lastaufnahmefähigkeit und ermöglichen horizontal eine Verschiebbarkeit der oberen gegenüber der unteren Platte des Isolationsblocks, haben aber horizontal einen sehr begrenzten Hub der Beweglichkeit. Mit zunehmender Verschiebung aus der Mittellage nimmt die Steilheit der Federkennung zu, es erfolgt eine Versteifung der Blöcke mit Wirkung auf die Gebäudestruktur durch Anstieg der Schubkraft, die von der Basis auf den Baukörper übertragen wird. Hierdurch können in Extremfällen auch durch die Versteifung der Gummiblöcke Schäden an Struktur und Interieur entstehen.

Diese Blöcke haben bei starken Erdbeben den Nachteil eines horizontal zu geringen Hubs in der seitlichen Beweglichkeit, wodurch auch noch Gefährdungen des Bauwerks auftreten können. Außerdem sind diese Elastikblöcke nicht in der Lage, nennenswerte negative Vertikallasten aufzunehmen. Es besteht die Gefahr des Abreißens.

Bei Lagerung von Gebäuden auf solchen horizontal elastischen Blöcken werden die Spitzenwerte der Beschleunigungen gemindert durch Federung und Dämpfung. Die Übertragung der Bewegung des Bodens auf das Gebäude erfolgt dennoch in einem bestimmten Ausmaß. Übersteigt die horizontale Schwingamplitude des Bodens den seitlichen Federhub der horizontal elastischen Blöcke, so wird die Geschwindigkeit des Bodens in voller Größe durch die Stahl-Elastomer-Blöcke auf das gestützte Objekt übertragen und es besteht die Gefahr, daß die Blöcke zwischen den Stahllamellen abscheren.

Bei großen Schwingamplituden des Bodens können die Bewegungen des auf Elastomer-Blöcken gestützten Baukörpers erheblich sein, und die Bewegungen des Gebäudes in oberen Bereichen können durch eine Art Peitscheneffekt verstärkt werden.

Bei einer anderen Art von Fundament-Isolation wird der Baukörper auf der Basis über rollende oder gleitende Körper gestützt, die sich zwischen zwei konkaven Platten oder einer ebenen und einer konkaven Platte bewegen können, so daß dieser Stützpunkt des Gebäudes auf der oberen Platte sich bewegt wie an einem Pendel aufgehängt. ( US Patents 4,644,714 ; 4,881,350 ) Diese Vorrichtungen übertragen keine Negativkräfte und sind nicht zur Aufnahme von Kräftepaaren aus Biegemomenten am Bauwerk geeignet.

Bei der Abstützung über Rollkörper ergeben sich Probleme im Hinblick auf die damit verbundenen hohen Hertz'schen Pressungen an den Berührungsflächen. Hierdurch werden besondere Anforderungen an die Materialien und die Oberflächen der beteiligten Bauteile gestellt. Außerdem können bei dieser Art der Abstützung keine negativen Kräfte übertragen werden.



Es können auch zwischen ebenen Platten Stützkörper angeordnet sein, deren Krümmungsradius an den Berührungsflächen zu den Platten größer ist als die Höhe des Körpers. ( DPA Offenlegungsschrift 2021031 )

5 Hierdurch wird die obere Platte, ein Stützpunkt des Getragenen, beim pendelnden Abrollen des Stützkörpers angehoben und es entsteht auch ein Bewegungsverhalten des Stützpunktes wie an einem Pendel hängend. Die Schwingweiten solcher Lösungen sind schon bei mittleren Erdbeben unzureichend. Die Eigenschwingung dieser Lösungen liegen zu nahe bei den möglichen Erdbebenschwingungen, eine hinreichende Schwingungsentkopplung entsteht nicht, Resonanzschwingung ist möglich, Negativkräfte können nicht  
10 übertragen werden.

Bei einer weiteren Art der Fundament-Isolation werden Stützpunkte der Gebäudestruktur an Pendeln aufgehängt. ( US Patents 1,761,321 ; 1,761,322 ; 2,035,009 ; 4,328,648 ) Der Ausführung großer Pendellängen sind praktische Grenzen gesetzt. Die Schwingungsentkopplung von der schwingenden Basis ist unzureichend.

15 Durch die Pendelgeometrie ist das Bewegungsverhalten des Systems festgelegt. Die Abmessung der Pendel bestimmt die Periodendauer der Eigenschwingung. Der Grad der Verschiedenheit der Eigenschwingung von der Schwingung des Bodens bestimmt das Bewegungsverhalten der an Pendeln aufgehängten Masse des Baukörpers.

20 Wird ein Gegenstand oder ein Baukörper an Pendeln aufgehängt wie in den Beispielen nach FIG.2, FIG.3 oder FIG.4, so hat dieser ein eigendynamisches Bewegungsverhalten wie ein mathematisches Pendel. Die Masse des Gebäudekörpers oder des Objekts 1 wird anteilig entsprechend der Massenverteilung auf die verschiedenen Stützpunkte im unteren Gelenkpunkt 3 des Pendels 2 durch die Erdgravitation und evtl. eine zusätzliche Beschleunigung als Kraft wirksam. Die Pendel 2 werden an einem oberen Gelenkpunkt 4  
25 von einer adäquat ausgestalteten Stützstruktur 5 getragen. Die Gelenke 3 und 4 sind entweder Kugelgelenke oder Kardangelenke und erlauben dem Pendel Schwenkbewegungen in zwei Achsen, relativ zur Last tragenden Aufhängung und relativ zum getragenen Objekt oder Gebäude. Das Bewegungsverhalten der gezeigten Beispiele läßt sich reduzieren auf das Modell des mathematischen Pendels.

30 Bei allen zitierten Lösungen handelt es sich um schwingungsfähige Systeme, deren Eigenschwingungen in der Nähe von Erdbeben-Anregungsschwingungen liegen. Bei maximal auftretenden Amplituden der Erdbebenschwingung ist ein Resonanzfall im Erdbeben-Frequenzbereich nicht ausschließbar, wobei zusätzliche Probleme entstehen, die Gefährdungen des Gebäudes hervorrufen können.

35 Macht das Gebäudesystem in der Nähe der Resonanzschwingung zur Erdbeben-Schwingung noch zusätzlich Kippbewegungen zur Hochachse des Gebäudes, so erfahren die dem Erdboden weiter entfernt liegenden Gebäudeteile eine Zunahme der Beschleunigung und der daraus resultierenden Belastungskräfte.

40 Mit hochelastischen Isolatoren zwischen dem Gebäudeoberteil und seinem Fundament und einer damit verbundenen horizontal weichen Lagerung des Baukörpers lassen sich bei stärksten Erschütterungen mit dieser Anordnung dennoch keine vollkommen zufriedenstellenden Ergebnisse erzielen, wenn die Frequenzentkoppelung nicht weitreichend

Die mögliche Nähe der Resonanzschwingung zu möglicher Schwingung des Erdbeben-Antwortspektrums lassen große Amplitudenverstärkungen in oberen Gebäudeteilen aufkommen.

5 Hierdurch ist es möglich, daß die von solchen Vorrichtungen getragenen Baukörper mit der entsprechenden Frequenz in verstärktes Schwingen geraten.

Bei solchen Vorgängen sind auch noch Gebäudeschäden möglich, und die Gefahr bleibt bestehen, daß bewegliche Einrichtungsgegenstände innerhalb des Gebäudes hin und her geschleudert werden und damit auch Schäden und Gefährdungen von Personen herbeiführen können.

### 10 3.4 Abgrenzung der neuen Lösung zum Stand der Technik

Bei besonders starken Erdbeben, mitunter BigShake oder MegaShake genannt, wird der Schutz der bekannten Schutzsysteme und aller anderen konventionellen Design-Methoden entsprechend den Bauvorschriften nicht ausreichend sein und sie werden versagen. Zerstörungen und die Anzahl von Todesopfern können katastrophale Ausmaße annehmen.  
15 Es hat Beben mit mehreren Hunderttausend Toten gegeben.

Bekannte Lösungen der Basisisolation ermöglichen der Gebäudestruktur gegenüber der Basis eine Verschiebbarkeit in engen Grenzen. Mit größer werdenden Schwingamplituden nimmt bei bekannten Schutzsystemen der Grad der Impuls-Reduktion ab. Bei Extrembeben besteht die Möglichkeit des Versagens.

20 Abgrenzend von bekannten Erdbebenschutz-Systemen ist die erfindungsgemäße Lösung weder eine Roll-, Gleit- oder Elastomer-Vorrichtung, die Energie absorbiert oder wegleitet, es ist ein Impuls nicht weiterleitendes System, das freie Bewegung gegenüber der Basis in jeder Richtung zuläßt, es erfolgt keine Energieabsorption oder -verteilung. Die erfindungsgemäße Lösung bewirkt, daß keine Übertragung der Bodenbewegung und kein  
25 Energietransfer auf das Gebäude erfolgt.

Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß horizontale Erdbebenschwingungen der Basis nicht auf das Bauwerk übertragen werden, das Objekt der oszillierenden Erdbebenbewegung der Basis nicht mehr folgen kann und das Gebäude in Ruhelage bleibt. Erdbebenschäden werden effektiv verhütet.

30 Die Erdbebenfrequenz und die Eigenfrequenz der von virtuellen Pendeln getragenen Struktur sind so weit entkoppelt, daß die Bewegung des Bodens nicht auf die gestützte Struktur übertragen werden kann. Das Prinzip ist ohne Änderung des Verhaltens voll wirksam bei jeder Erdbeben-Schwingfrequenz. Aus der in Ruhelage verbleibenden getragenen Masse wirken keine Reaktionskräfte aus Beschleunigungen auf die  
35 Gebäudestruktur zurück. Es entstehen keine Beschädigungen an dem Gebäude oder dem Interieur, selbst bei dem denkbar stärksten Erdbeben.

Dagegen übertragen elastomere Lager und reibungsbehaftete Gleitlager doch noch nicht geringe Schubkräfte in die Gebäudestruktur, was im Extremfall auch kritisch werden kann. Auch wenn im Einzelfall die Struktur noch standhält, so können die Beschädigungen im  
40 Inneren des Gebäudes beträchtlich sein.

Während Basis-Isolations-Lager mit Wälzkörpern, Elastomer-Blöcken oder Gleitfüßen keine vertikale Zuglasten aufnehmen können, sind Erdbebenschutz-Module auf der Basis virtueller Pendel geeignet, negative Vertikallasten zu übertragen.

Das erfindungsgemäße Erdbebenschutz-System ist ein perfektes Basis-Isolations-System, eine kompakte, passiv wirkende, lasttragende Vorrichtung, die im Untergeschoß oder Erdgeschoß eines Gebäudes eingebaut wird und das freie Bewegung gegenüber der Basis in jeder Richtung zuläßt, wobei dennoch Windkräfte abgestützt bleiben.

Das perfekte Verhalten der Erdbebenschutz-Module wird nicht beeinflusst von der Impulsgröße, der Magnitude des Erdbebens, der Basisbeschleunigung, der Schwingweite und der Frequenz der Erdbeben-Schwingung, ob harmonisch oder disharmonisch. Das Ergebnis ist immer dasselbe; das Gebäude steht still, es bewegt sich nicht. Alle Ansprüche werden mathematisch gestützt.

Das erfindungsgemäße Erdbebenschutz-Modul ist keine Vorrichtung, die Energie aufnimmt, oder weiterleitet, sondern eine Vorrichtung, die keinen horizontalen Impuls überträgt und Verschiebungen gegenüber der Basis frei zuläßt. Es ist möglich, die Schwingungen des gestützten Objekts, die ein Erdbeben verursacht, auf nahezu Null (weniger als 0,01 g) zu reduzieren, unabhängig von der Stärke des Erdbebens und unabhängig von den Frequenzen und Amplituden der Erdbewegung. Folglich wird keine Energie aus der Erdbewegung auf das Gebäude übertragen. Die Scherungskräfte, die auf das Gebäude einwirken, werden reduziert auf belanglose Werte.

Selbst stärkste Erdbeben würden keine Schäden an der Struktur, der Fassade oder im Inneren des Gebäudes verursachen. Eine Person im Gebäude würde möglicherweise noch nicht einmal bemerken, daß sich ein Erdbeben ereignet hat.

Die Schutzfunktion für das Gebäude ist so weitgehend, daß unabhängig von der Stärke eines Erdbebens keine Kräfte mit zerstörerischer Wirkung auf das Gebäude übertragen werden können. Mit der neuen Methode ist es möglich, ein Verhalten des so gestützten Objekts zu erzielen, daß es nahezu in Ruhelage verbleibt, auch wenn der Boden mit großen Amplituden und hohen Beschleunigungen sich bewegt.

Elastomer-Lager und Reibungs-Gleitlager haben keine Aufnahmefähigkeit für vertikale Zuglasten. Wenn ein Erdbeben hohe vertikale Beschleunigungen hervorruft, können Beschädigungen der Lager oder der Struktur entstehen oder gar ein Abheben von der Lagerstelle mit schwerwiegenden Folgen bewirken. Diese Probleme stehen der Anwendung solcher Basis-Isolatoren bei schlanken Hochhäusern entgegen, die Kippmomente bei starkem Wind oder bei Erdbeben durch hohe Beschleunigungen der Basis bei großen Bewegungsamplituden erfahren können.

Erdbebenschutz-Module in Form virtueller Pendel lösen dieses Problem von Abhebekräften durch formschlüssige Verbindung des Gebäudes mit dem Fundament selbst bei größten Schwingweiten der Basis.

Mit dieser neuen Technologie ist es nun auch möglich, die höchsten Hochhäuser vollständig von Erdbebenbewegungen zu isolieren.

Ein solcherart geschütztes schlankes Hochhaus erfährt keinen Peitscheneffekt durch Erdbeben, keine Fenster bersten, im Innern fliegen keine Einrichtungsgegenstände umher.

Aufgrund seines Design-Prinzips ist ein Hochhaus mit dieser Technologie ebenso stabil und robust wie ein konventionell konstruiertes Stahl-Skelett-Bauwerk mit dem zusätzlichen  
5 Vorzug, daß es die Bodenbewegungen nicht mitmacht und somit keine Verformungen mit Ausbaubeschädigungen erfährt und somit perfekte Erdbebensicherheit erhält.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren, Gebäude und Objekte auf Stützvorrichtungen zu lagern, die für den Laststützpunkt eine Bewegungsmöglichkeit herstellen wie das untere  
10 Ende eines Pendels mit langer Periodendauer und somit ein virtuelles Pendel darstellt, wird seismische Sicherheit auf ein Niveau von Perfektion gebracht.

Maximale Bewegungsauslenkungen bei bekannten Isolatoren sind bei starken Erdbeben nicht ausreichend. Werden diese Werte überschritten, kann das Gebäude beschädigt oder zerstört werden.

Selbst nahe dem Epicenter starker Beben, wo große Schwingweiten des Bodens  
15 vorkommen können, die alle bisher existierenden Schutzsysteme überfordern können, bietet das erfindungsgemäße System Sicherheit, weil es für größte Schwingamplituden ausgelegt werden kann.

Das System der vorliegenden Erfindung erfüllt eine hohe Schutzfunktion, indem die von der Basis auf das Gebäude übertragbare horizontale Beschleunigung auf bedeutungslose  
20 Werte von weniger als 0,01 g begrenzt wird.

Mit diesem Leistungsvermögen und der Systemcharakteristik bietet die hier dargestellte Erdbebenschutz-Technologie im Vergleich zur bereits vorhandenen Technik einzigartige vorteilhafte Eigenschaften.

Es ist kein weiteres Verfahren bekannt, welches vergleichbares Verhalten bewirkt.

25 Mit diesem neuen revolutionierenden Prinzip ist der Durchbruch zur Lösung des weltweiten Problems gelungen, der Bedrohung durch Erdbeben erfolgreich zu begegnen.

## 4 Übersicht der Erfindung

Die Erfindung stellt ein Basis-Isolations-System dar und ist eine kompakte, passiv wirkende, lasttragende Vorrichtung, die im Fundament oder Erdgeschoß eines Gebäudes  
30 eingebaut wird. Das System verhindert die Übertragung von Schwingungen und Stößen des Erdbodens auf das gestützte Objekt.

Das geschützte Gebäude wird durch die neuartige Tragkonstruktion vollständig von der horizontalen Bewegung des Bodens isoliert, die Eigenschwingung des Objekts von der schwingenden Basis dissonant entkoppelt.

35 Erdbebenschäden werden effektiv verhütet. Das Prinzip des virtuellen Pendels ist wirksam bei jeder Erdbeben-Schwingfrequenz und jeder Erdbeben-Basisbeschleunigung und kann für jede erforderliche Schwingamplitude ausgelegt werden.

Die nach dem Verfahren des virtuellen Pendels gestaltete Tragvorrichtung kann für jede erforderliche Schwingamplitude und für alle in Frage kommenden Vertikallasten ausgelegt und wartungsfrei gestaltet werden. Die Vorrichtung ist geeignet für die Erdbebensicherung von Objekten jeglicher Art, um sie von den Bodenschwingungen abzukoppeln, und läßt sich  
5 einsetzen, um bestehende Objekte durch Nachrüstung erdbebensicher zu machen.

Diese neu definierte Aufgabe wird dadurch gelöst, daß der Baukörper oder das zu schützende Objekt auf Tragkonstruktionen, die hier Erdbebenschutz-Module genannt werden, gelagert ist, die mit dem Boden über ein durchgehendes gemeinsames Fundament oder auch über jeweils einzelne Fundamentgründungen für das einzelne Erdbebenschutz-  
10 Modul fest mit dem Boden verbunden sind und daß diese Erdbebenschutz-Module den Baukörper an mehreren Punkten tragen und ihm an den Stützpunkten auf den Erdbebenschutz-Modulen ein räumliches Bewegungsverhalten in allen Richtungen ermöglichen mit großer Schwingamplitude mit geringer Rückstellkraft, die nur minimale Beschleunigungen begründet.

Die Erfindung stellt ein erdbebenunempfindliches Tragsystem dar zur Lagerung und Stützung von Strukturen aller Art wie Gebäude, Brücken, Türme, Industrie- und Nuklear-Anlagen oder sonstiger Objekte, das zwischen Fundament und getragener Struktur angeordnet ist und verhindert, daß diese den wechselnden horizontalen Erdbebenbewegungen und Beschleunigungen und den daraus hervorgerufenen Kräften aus  
15 20 der Dynamik der schwingenden Bewegung ausgesetzt wird, um sie so vor den zerstörerischen Einwirkungen durch Erdbeben zu schützen.

Für die Dämpfung oder Tilgung vertikaler Erdbebenschwingungen kommen im Bedarfsfall mechanische, hydropneumatische oder viskoelastische Federungssysteme mit sehr flacher Federkennung in Kombination mit der Lagerung durch virtuelle Pendel zur Anwendung.

#### 25 4.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erdbebensicherung bereitzustellen, um ein Gebäude oder Objekt so weitgehend von der Bewegung des Bodens zu isolieren, daß unabhängig von der Stärke eines Erdbebens keine Kräfte mit zerstörerischer Wirkung auf das Gebäude übertragen  
30 werden können.

Es muß Resonanzfreiheit des Gebäudes bei Bodenschwingungen erreicht werden und die Eigenfrequenz des Objekts in seiner Lagerung muß von der Schwingfrequenz des Bodens so unterschiedlich sein, daß beide Schwingssysteme voneinander entkoppelt und die horizontalen Beschleunigungs- und Stoßkräfte aus der Bewegung des Bodens nicht mehr  
35 auf den Gebäudekörper übertragen werden.

Sind die Frequenzen der Erdbebenschwingung und die des Eigenschwingverhaltens der Tragkonstruktion mit der getragenen Struktur verschieden um den Faktor 20 und höher, so ist nicht mehr zu erwarten, daß die wesentlich höherfrequente Anregung durch den Boden ein Schwingen des Getragenen herbeiführt. Im übrigen wäre ein Schwingen der getragenen  
40 Struktur mit einer Periodendauer von 20 Sek. und länger nicht mehr bedeutsam in Hinblick auf eine Gefährdung der Struktur. Ein solch träges Verhalten und die hiermit verbundenen geringen Beschleunigungen sind kaum noch physisch wahrnehmbar.

## 4.2 Deduktion zur Lösung der sich stellenden Aufgabe

Vorab dienen die folgenden grundsätzlichen Betrachtungen zur Herleitung der angestrebten Lösung des Problems.

Ausgangspunkt der Überlegung ist die Aufhängung einer Masse an Pendeln.

- 5 **FIG.5** Die Masse 1 wirkt wie eine Punktmasse am unteren Ende des Pendels. Wird die am unteren Ende des Pendels angreifende Masse 1 um einen Betrag  $e$  aus ihrer statischen Ruhelage verschoben, so erfährt sie gleichzeitig eine Anhebung um den Betrag  $h$ , weil das Pendel 2 mit der Länge  $l$  mit dem unteren Pendelende 3 einen Kreis um den oberen Aufhängepunkt 4 mit dem Radius  $r=l$  beschreibt. Da die Bewegungen in jeder Richtung  
10 zweiachsig erfolgen können, beschreibt das untere Pendelende, der Aufhängepunkt der Masse eine von oben gesehen konkave sphärische Fläche.

- Die Anhebung der Masse 1 um den Betrag  $h$  führt dazu, daß die Masse eine höhere potentielle Energie erhält. Bei Verschwinden der Krafteinwirkung, die zur Auslenkung der Masse 1 um den Betrag  $e$  und zur Anhebung der Masse um den Betrag  $h$  geführt hat,  
15 bewirken die Zugkraft im Pendel  $Z$  und die Kraft aus der Erdgravitation und der Masse ( $m \cdot g$ ) eine resultierende Rückstellkraft  $R$ , welche die Masse am Pendelende 3 in die mittlere Ruhelage zurückführt. Hierbei überschwingt die Masse 1 die Ruhelage, und durch Reibungsdämpfung kommt das Schwingen zum Stillstand.

- Die gleichen Relationen treten auf, wenn nicht die Masse aus ihrer Ruhelage bewegt  
20 wird, sondern auch, wenn der obere Aufhängepunkt 4 des Pendels 2 über die Tragstruktur 5 durch seitliches Bewegen der Basis 6 verschoben wird. Hierdurch erfährt das Pendel zunächst eine Schrägstellung durch Zurückbleiben der aufgehängten Masse aufgrund der Trägheit, und die Masse wird hierbei angehoben. Die dann einsetzende Bewegung der Masse erfolgt nach dem Schwingverhalten des Pendels.

- 25 Hierbei ist die Kreisfrequenz der Schwingung

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (1)$$

$g$ .....Gravitationsbeschleunigung

$l$ .....Länge des Pendels

- Das Schwingverhalten des Pendels ist also ausschließlich durch die Pendellänge  
30 bestimmt.

Die Pendelfrequenz ist

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{\sqrt{\frac{g}{l}}}{2\pi} \quad (2)$$

Die Schwingungszeit beträgt

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{l}}} \quad (3)$$

Eine große Pendellänge bedeutet also eine geringe Pendel-Schwingfrequenz und eine lange Periodendauer einer Schwingung.

- 5 Sind die Schwingfrequenz des Pendels und die Schwingfrequenz der Basis sehr verschieden, so werden die Bewegungen voneinander weitgehend entkoppelt.

10 Wird z. B. der obere Aufhängepunkt des Pendels durch eine horizontale Schwingung der Basis im Falle eines Erdbebens mit einer Frequenz üblicherweise zwischen 0,5 Hz und 2 Hz bewegt und hat das Pendel bei einer großen Länge eine sehr niedrige Eigenfrequenz gegenüber der Erregungsfrequenz, so vermag die Masse des Objekts der Bewegung der Basis nicht mehr zu folgen, sie verbleibt nahezu auf der Stelle. Wenn die Masse sich mit sehr geringer Geschwindigkeit bei einer langen Periodendauer der eigenen Schwingung in Bewegung setzt, erfolgt bereits mit wesentlich höherer Frequenz eine Deplacierung des Aufhängepunkts des Pendels in der entgegengesetzten Richtung bevor sich der Massepunkt 15 wesentlich von seiner ursprünglichen Lage entfernt hat. Diese Umkehrung vollzieht sich bei anhaltender Schwingung im ständigen Wechsel, so daß die Masse nahezu auf derselben Stelle verbleibt.

Um die gewünschte Entkopplung zu erreichen, werden große Pendellängen erforderlich.

- 20 Der Realisierung besonders großer Pendellängen stehen jedoch praktische Gesichtspunkte entgegen.

Das bis hier betrachtete Pendel, welches an seinem oberen Ende gelenkig aufgehängt ist, stellt ein stabiles Tragelement dar, da es eine stabile Lage oder Ruhelage mit tiefster Schwerpunktlage der getragenen Masse selbsttätig durch die Gravitations-Beschleunigung anstrebt.

- 25 Die Realisierung eines sogenannten virtuellen Pendels, das eine geringe Bauhöhe ermöglicht, aber die Wirksamkeit eines Pendels großer Pendellänge und damit eine lange Periodendauer einer Schwingung hat, basiert auf dem Prinzip, daß die Wirkung von stabilen, die Masse anhebenden und labilen, die Masse absenkenden Tragelementen in einer Weise gekoppelt wird, daß der anhebende, stabilisierende Einfluß geringfügig aber hinreichend 30 überwiegt.

Bei einem stabilen Tragelement strebt eine getragene Masse im Bereich seiner Bewegungsfreiheit unter dem Einfluß einer Gravitations-Beschleunigung die Lage geringster potentieller Energie an.

- 35 Ist eine Masse durch eine Bahn oder Fesselung z. B. durch ein Pendel so in der Bewegungsmöglichkeit geführt, daß eine Deplacierung aus der Ruhelage ihre potentielle Energie erhöht, so kehrt sie unter dem Einfluß der Gravitations-Beschleunigung in ihre ursprüngliche Ruhelage zurück.

Die Lage der Masse ist stabil.

Wird bei Deplacierung der Masse aus der Ausgangslage durch die vorgegebene Bewegungsbahn die potentielle Energie verringert, so strebt die Masse unter Einfluß der Gravitations-Beschleunigung einer weiteren Verringerung der potentiellen Energie zu.

Die Lage der Masse ist instabil.

- 5 Mit der Koppelung und Überlagerung beider Einflüsse, der stabilen und der labilen Masseverlagerung wird durch geeignete Wahl der geometrischen Größen der Koppelglieder erreicht, daß die resultierende Bewegung der Masse zu einer geringen Anhebung und nur geringfügigen Erhöhung der potentiellen Energie führt, woraus eine langsame Rückführung in die Ruhelage und somit eine lange Periodendauer der Eigenschwingung resultiert.

- 10 Dies ist die Wirkung eines langen Pendels.

Wenn erfindungsgemäß physikalisch kein langes Pendel vorhanden ist, jedoch die Wirksamkeit eines langen Pendels mit langer Periodendauer erreicht wird, so ist hier die Rede von einem virtuellen Pendel langer Periodendauer.

- 15 Das sogenannte virtuelle Pendel hat bei geringer Bauhöhe jedoch die Wirksamkeit eines langen Pendels mit langer Periodendauer der Eigenschwingung.

- 20 Wenn nun bei einer konstruktiv verfügbaren Raumhöhe und einer davon abhängigen Länge  $l$  des Pendels 2 die Anhebung  $h$  zu groß wird, so muß die Anhebung durch additive Überlagerung eines negativen Wertes also einer Absenkung eine resultierende geringe Anhebung erreicht werden, die dem Zielergebnis entspricht. Dies ist möglich, wenn man ein stabiles, hängendes Pendel und instabiles stehendes Pendel in geeigneter Weise miteinander koppelt und bei einer horizontalen Auslenkung der gekoppelten Stützglieder deren jeweiligen vertikalen Hübe, der einmal positiv und einmal negativ ist, addiert.

- 25 Da der Hubverlauf beider Stützglieder über der horizontalen Auslenkung harmonisch verläuft, weil sie unmittelbar von einer Kreisfunktion abhängen, so ist die Differenz beider Vertikalhübe ebenfalls über der horizontalen Auslenkung im Verlauf harmonisch, was der Anwendung des Prinzips für die Zielsetzung entgegenkommt.

**FIG.6** veranschaulicht diesen Zusammenhang. Der Massepunkt 3 des stabilen Pendels 2 mit der Länge  $l$  erfährt bei der horizontalen Auslenkung  $e$  die Anhebung  $h$ .

$$h = l \left( 1 - \arctg \frac{e}{l} \right) \quad (4)$$

- 30 Das obere Ende des stehenden instabilen Pendels 7 mit der Länge  $l_s$  wird über der horizontalen Auslenkung  $e_s$  und den Betrag  $S$  vertikal abgesenkt.

$$s = l_s \left( 1 - \arctg \frac{e_s}{l_s} \right) \quad (5)$$

Werden die Vertikalbewegungen beider Stützglieder addiert, erfolgt eine resultierende Anhebung mit dem Betrag  $h_{res}$ .

- 35 Die Relationen von  $\alpha : \beta$  und  $e : e_s$  werden beeinflußt von der Art der benutzten Koppelung und der frei wählbaren Relation von  $l : l_s$ .



In der unmittelbaren Addition der Vertikalhübe der stabilen und labilen Stützpendel werden die Zusammenhänge im Ergebnis, wie in FIG.6 dargestellt, erreicht.

Die Koppelung der stabilen und labilen Stützpendel kann in unterschiedlichster Art geschehen. Es können durch Hebeleinflüsse zu den Anhebungen und Absenkungen proportional übersetzte Beträge an den Stützelementen oder an den Koppelgliedern benutzt werden, um geeignete Laststützpunkte zu definieren, die durch die Koppelung unter dem gemeinsamen Einfluß der proportionalen Anhebung und Absenkung beider Arten von Stützpendeln die gewünschte Anhebung erfahren.

**FIG.7** Die horizontale Auslenkung  $e_p$  des gewählten Laststützpunktes des unteren Endes des virtuellen Pendels ist eine Funktion oder in erster Näherung proportional zu der Auslenkung  $e$  am hängenden stabilen physischen Pendel.

Ebenso sind die Anhebung und die überlagerte Absenkung des Laststützpunktes, des unteren Endpunkts des virtuellen Pendels Funktions- oder Proportionalwerte der Anhebung oder der Absenkung der Massewirkungspunkte an den hängenden stabilen und den stehenden labilen physischen Pendeln.

Die Anhebung  $h_p$  des Massewirkungspunktes  $P$  am virtuellen Pendel in Funktion über der Auslenkung aus der Mittellage entspricht in erster Näherung einer Kreisbahn und zweiachsig pendelnd beschreibt der Punkt  $P$  eine Ortsfläche in Form einer von oben gesehen konkaven Sphäre.

Der Krümmungsradius  $\rho$  ist die Länge  $l_p$  des virtuellen Pendels.

**FIG.8** Das Stützelement 2 stellt ein stabiles, hängendes Pendel mit der Länge  $l_h$  dar und Stützelement 7 ein labiles, stehendes Pendel mit der Länge  $l_s$ .

Beim hängenden Pendel, Stützelement 2 wird das frei bewegliche Ende des Pendels beim Pendeln um den Winkel  $\alpha$  angehoben um den Betrag  $h$ . Beim stehenden Pendel, Stützelement 7 wird bei einer Pendelbewegung um den Winkel  $\beta$  das frei bewegliche Ende des Pendels abgesenkt um den Betrag  $s$ . Beim hängenden Pendel, Stützelement 2 beschreibt das freie Ende eine von oben gesehen konkave sphärische Fläche. Beim stehenden Pendel, Stützelement 7 beschreibt das freie Ende eine von oben gesehen konvexe sphärische Fläche.

**FIG.9** Erfindungsgemäß werden nun das hängende Pendel, Stützelement 2 und das stehende Pendel, Stützelement 7 mittels eines Koppelements 8 gekoppelt. Beim gekoppelten Pendeln beider Pendel wird der Teil des Koppelements 8, der nah am stehenden Pendel, Stützelement 7 ist, abgesenkt. Der Teil des Koppelements 8, der näher am hängenden Pendel, Stützelement 2 ist, wird während des Pendelns angehoben.

Auf irgendeinem Teil des Koppelements 8 mit der Länge  $c$  wird an einem Punkt  $P$  des Koppelements 8 im Teilungsverhältnis von  $a$  zu  $b$  der Lagerpunkt  $P$  des getragenen Objekts während des Pendelns beider gekoppelter Stützelemente in beiden Bewegungsrichtungen im Bereich der zugrunde gelegten Horizontalamplitude um geringe Strecken angehoben.

Dies wird beeinflusst von der Wahl der Größen und der Verhältnisse zueinander von  $l_s, l_h, c$  und dem Verhältnis  $a$  zu  $b$ . Eine geringere Länge  $l_h$  des hängenden Pendels, Stützelement 2 führt bei gleichem Pendelausschlag  $e$  zu einer größeren Anhebung  $h$  des Pendelendes. Eine Vergrößerung der Länge  $l_s$  des stehenden Pendels, Stützelement 7 führt bei gleicher Auslenkung  $e$  zu einer Verringerung der Absenkung  $s$ . Die Wahl der Lage des Punktes P auf dem Koppellement 8 mit der Länge  $c$  im Teilungsverhältnis  $a$  zu  $b$  erfolgt so, daß die Anhebung des Punktes P bei der Auslenkung  $e$  des hängenden Pendels, Stützelement 2 in jedem Fall positiv wird aber minimal bleibt. Wird das Koppellement 8 durch entsprechende Lagerung daran gehindert, sich um die Hochachse H zu drehen, so gelten die bis jetzt gemachten Betrachtungen gleichermaßen auch, wenn das Pendeln der Stützelemente 2 und 7 sich in einer anderen Richtung ereignet, wie FIG.10, welche die Situation in der Draufsicht zeigt, veranschaulicht.

**FIG.10** Das Koppellement 8 ist in fest mit der getragenen Masse verbundenen Lagern B drehbar um die Achse Q gelagert und dadurch an einer Drehung um die Hochachse H gehindert. Das freie Ende des hängenden Pendels, Stützelement 2 beschreibt eine von oben gesehen konkave sphärische Fläche K. Das stehende Pendel, Stützelement 7 beschreibt in der Draufsicht eine von oben gesehen konvexe Sphäre V. Bei Auslenkung des freien Endes des hängenden Pendels, Stützelement 2 um einen Betrag  $e$  in jedwelcher Richtung wird der Punkt P des Koppellements 8 und somit die Achse Q in gleicher Weise angehoben wie bei einer Auslenkung in Richtung der X-Achse.

Der Gelenkpunkt des Koppellements 8 am Stützelement 7 erfährt ebenso eine Absenkung in jedwelcher Richtung der Auslenkung der Pendel, Stützelemente 2 und 7 wie in der Richtung der X-Achse. Damit erfährt der Punkt P auf dem Koppellement 8 bei einer Auslenkung der gekoppelten Pendel in jedwelcher Richtung eine Anhebung.

Wie FIG.9 zeigt, bewegt sich der Punkt P wie der freie Endpunkt eines hängenden langen Pendels mit der Länge  $l_v$ , er stellt das freie Ende eines virtuellen Pendels großer Länge dar.

**FIG.11** Bei einer Auslenkung  $e$  des Koppellements 8 in FIG.9 aus der Ruhelage um den Betrag  $e$  und einer Anhebung des Punktes P um den Wert  $h_p$  wird nach FIG.11 die Länge des virtuellen Pendels

$$l_v = \frac{e^2 + h_p^2}{2h_p} \quad (6)$$

Die Kreisfrequenz des virtuellen Pendels ist

$$\omega = \sqrt{\frac{2g \cdot h_p}{e^2 + h_p^2}} \quad (7)$$

Die Pendelfrequenz des virtuellen Pendels ist

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2g \cdot h_p}{e^2 + h_p^2}} \quad (8)$$

Die Periodendauer der Schwingung des virtuellen Pendels ist

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{e^2 + h_p^2}{2g \cdot h_p}} \quad (9)$$

Die maximale Geschwindigkeit des Punktes P des freien Endes des virtuellen Pendels beträgt

$$v_{\max} = \frac{2g \cdot h_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{h_p}{e}\right)^2}} \quad (10)$$

Die maximale Beschleunigung des freien Endes des virtuellen Pendels und damit des hierdurch gestützten Objekts beträgt

$$a_{\max} = \frac{2g \cdot h_p}{e + \frac{h_p^2}{e}} \quad (11)$$

- Die Stützelemente 2 können ebenso bei annähernd gleicher Wirksamkeit auch aus Seilstrukturen bestehen und dabei auf gelenkige Aufhängungen verzichten, sofern die Stützelemente 2 bei allen Belastungsfällen nur durch Zugkräfte belastet werden.

**FIG.12** zeigt eine Variante des Prinzips.

- Neben der Wahl der Relationen von  $l_h$  zu  $l_s$  und  $a$  zu  $b$  läßt sich über einen Winkel  $\gamma$  des Wirkhebels **b** des Koppellements 8 und ebenso auch durch Einführung eines Winkels am Wirkhebel **a** des Koppellements 8 die Charakteristik der Anhebung des Punktes P beeinflussen und damit die wirksame Länge des virtuellen Pendels bestimmen.

Die Auslegung der Dimensionen kann so erfolgen, daß die wirksame Länge  $l_v$  des virtuellen Pendels ein Vielfaches der Bauhöhe der das Objekt stützenden Vorrichtung beträgt.

- Hierdurch ist es möglich, daß die Schwingfrequenz des virtuellen Pendels und seine von ihm getragene Masse  $m$  sehr wesentlich niedriger liegt als die Schwingfrequenz der Basis 6 bei Auftreten von durch Erdbeben hervorgerufenen horizontalen Bewegungen.

Dies bedeutet eine Entkopplung der Lage des von den virtuellen Pendeln getragenen Objekts von den horizontalen Bewegungen des Bodens.

- Die maximal auf den Baukörper oder das getragene Objekt einwirkenden Beschleunigungen ergeben sich aus dem Bewegungsverhalten des mathematischen Pendels gemäß Gleichung (10).

- Durch entsprechende Auslegung und Dimensionierung ist es möglich, diese maximale horizontale Beschleunigung auf so geringe Werte zu reduzieren, daß sie vom Menschen nicht mehr physisch wahrnehmbar ist. Diese Wirksamkeit ist unabhängig davon, welche horizontalen Beschleunigungen die Basis 6 durch ein Erdbeben erfährt.

Die Magnitude eines Bebens hat keinen Einfluß auf die geradezu ruhende Lage eines durch virtuelle Pendel großer wirksamer Pendellänge und langer Periodendauer getragenen Baukörpers.

5 **FIG.13** entspricht im Grundprinzip der Lösung nach **FIG.9** und **FIG.12**. Hierbei wird jedoch der Hebel mit der Wirklänge **b** von dem Hebel mit der Länge **a** getrennt und erhält eine eigene einachsige Lagerung in höherer Position an der Laststütze  $L_w$ , die anteilig die getragene Masse **m** stützt.

10 Bei dieser Lösung nehmen das hängende stabile Stützelement Pendel 2 und das stehende labile Stützelement Pendel 7 mit ihren jeweiligen Wirklängen  $l_h$  und  $l_s$  einen größeren Anteil von der verfügbaren Raumhöhe in Anspruch. Dadurch wird erreicht, daß bei gleich großem maximalen Winkelausschlag der zweiachsig gelenkig gelagerten Stützelemente 2 und 7 die verfügbare horizontale Schwingweite des Systems in Relation zur vertikalen Raumhöhe vergrößert wird.

15 Der Träger, Koppellement 8, wird über die Koppelstütze  $8_a$ , die beidseitig einachsig gelenkig gelagert ist, mit dem Träger, Koppellement  $8_b$ , verbunden, das seinerseits einachsig gelenkig an der Laststütze gelagert ist und sich zweiachsig gelenkig gelagert auf dem labilen Stützelement, dem stehenden Pendel 7, abstützt. Das Bewegungsverhalten entspricht dem Schema nach **FIG.7** und **FIG.8**.

20 **FIG.14** und **FIG.15** zeigen in zwei Richtungen die Schwingweitenmöglichkeit der getragenen Masse gegenüber der Basis.

**FIG.16** zeigt die Schwingmöglichkeit des getragenen Objekts gegenüber der Basis in drei Bewegungsphasen mit einem Schwinghub **S**.

25 **FIG.17** stellt dar, wie bei einem Schwinghub **S** der Basis 6 und des mit der Basis verbundenen virtuellen Lagerpunkts  $C_v$  des virtuellen Pendels  $P_v$  das stabile Stützelement, das hängende Pendel 2, durch die Pendelschwenkbewegung den unteren Laststützpunkt um den Betrag **h** anhebt und wie das labile Stützelement, das stehende Pendel 7, den oberen Laststützpunkt um den Betrag **s** absenkt, während das getragene Objekt **O** eine Anhebung  $h_p$  entsprechend der Hubbewegung des virtuellen Pendels  $P_v$  erfährt.

30 **FIG.18** Bei diesem Beispiel wird ein System mit einem Koppellement 9 in der Form eines Dreiecks betrachtet.

**FIG.19** zeigt die Draufsicht des Systems nach **FIG.18**. Das dreieckige Koppellement 9 ist an drei schräg unter einem Winkel  $\delta$  angeordneten an drei Stützpunkten 10 an der Basis 6 zweiachsig gelenkig aufgehängten Stützelementen 11 zweiachsig gelenkig gelagert.

35 Wird an einer Seite des Koppellements 9 ein Stützelement 11 an seinem unteren Gelenkpunkt 12 angehoben, dadurch daß sein oberer Stützpunkt 10 durch Verschiebung der Basis 6 vom Zentrum des Koppellements 9 weg nach außen verschoben wird, und dadurch, daß das Koppellement 9 wegen seines Beharrungsvermögens und der im Zentrum 13 auf dem Koppellement 9 abgestützten Masse eines Objekts gegenüber der Bewegung der Basis 6 zurückbleibt, so werden über das Koppellement 9 auf seiner gegenüberliegenden Seite die unteren Gelenkpunkte 12 der angelenkten Stützelemente 11 aufgrund der Schrägstellung in der Ausgangslage der Stützelemente 11 abgesenkt.

40

Da wegen der unter dem Winkel  $\delta$  geneigten Ausgangslage der Stützelemente 11 die Absenkung auf einer Seite des Koppelements 9 geringer ist als die Anhebung auf der gegenüberliegenden Seite, erfährt das Zentrum 13 des Koppelements 9 eine Anhebung.

Das Verhältnis der Anhebung des Koppelements 9 auf einer Seite zu der Absenkung auf seiner gegenüberliegenden Seite wird beeinflusst durch die Wahl des Winkels  $\delta$  bei der mittleren Ruhelage des Koppelements 9 und der Wahl der Relationen der geometrischen Größen der Stützelemente und des Koppelements.

Bei omnidirektionaler Verschiebung der Basis bewegt sich das Zentrum 13 des Koppelements 9 auf einer Ortsfläche in der Form einer nach oben offenen konkaven Fläche, mit dem Krümmungsradius  $\rho$ .

Das Zentrum 13 des Koppelements 9 bewegt sich wie an einem virtuellen Pendel mit der Länge  $\rho$  aufgehängt. Das Zentrum 13 des Koppelements 9 erfährt bei einer Verschiebung um den Betrag  $\varepsilon$  eine Anhebung um den Betrag  $h$ , und das Koppelement 9 eine Schrägstellung um den Winkel  $\zeta$ .

FIG.20 Ist mit dem Koppelement 9 ein vertikales Stützelement 14 mit der Höhe  $l_p$  im Zentrum 13 fest verbunden, so stellt diese Einheit für sich allein ein stehendes physikalisch instabiles Pendel dar, welches unterhalb seiner physischen Ausdehnung virtuell zweiachsig gelenkig gestützt und bei Kippen um den unteren momentanen Drehpunkt durch die Koppelung über Koppelement 9 an die Stützelemente 11 in FIG.19 um den Betrag  $h$  angehoben wird.

Der Lagerpunkt P der zu stützenden Masse am oberen Ende des Stützelements 14 mit der Höhe  $l_p$  in Einheit mit dem Koppelement 9 erfährt durch das Kippen um den Winkel  $\zeta$  eine relative Absenkung um den Betrag

$$s_p = l_p (1 - \cos \zeta) \quad (12)$$

und eine zusätzliche exzentrische Verlagerung

$$u = l_p \cdot \sin \zeta \quad (13)$$

Die gesamte exzentrische Verlagerung des Punktes P wird

$$e = \varepsilon + u$$

$$e = \varepsilon + l_p \cdot \sin \zeta \quad (14)$$

Die resultierende Anhebung des Punktes P wird

$$h_p = h - s_p$$

$$h_p = h - l_p (1 - \cos \zeta) \quad (15)$$

FIG.21 Der Punkt P, das obere Ende des Stützelements 14, bewegt sich auf einer nach oben offenen konkaven Fläche mit einer flachen Wölbung. Diese Wölbungskrümmung und die Reststabilität wird von den Relationen der Abmessungen der einzelnen Glieder der Baugruppe zueinander, insbesondere durch die Größe der vertikalen Länge bestimmt.

Die Wahl der Größe  $l_p$  wird begrenzt durch die Höhe, bei welcher das System instabil wird. Die Vorrichtung nach FIG.21 stellt ein virtuelles Pendel dar zur zweiachsig gelenkig gelagerten Abstützung eines Objekts im Punkt P, so als wenn das Objekt an einem langen Pendel mit der Länge  $l_p$  beziehungsweise  $p$  aufgehängt wäre, mit der Bewegungsfähigkeit auf einer gekrümmten Fläche mit dem Krümmungsradius  $p$ .

Mit  $e$  und  $h_p$  aus den Gleichungen (14) und (15) wird die Länge des virtuellen Pendels aus der Beziehung nach Gleichung (6) bestimmt.

Des weiteren gelten die Gleichungen (7) bis (11).

Die Stützelemente 11 können ebenso bei annähernd gleicher Wirksamkeit auch aus Seilstrukturen bestehen und dabei auf gelenkige Aufhängungen verzichten, sofern die Stützelemente 11 bei allen Belastungsfällen nur durch Zugkräfte belastet werden.

Dieser Laststützpunkt an den Erdbebenschutz-Modulen hat eine räumliche Bewegungsmöglichkeit, als wäre er das untere Ende eines sehr langen Pendels. Er bewegt sich also in einer flach gewölbten virtuellen sphärischen Schale.

In dieser Schale strebt der Laststützpunkt immer der tiefsten Stelle, dem Zentrum der Schale zu.

Je flacher die Schale gekrümmt ist, umso geringer ist die aus der Erdanziehung hervorgerufene Rückstellkraft zur Mitte hin und umso langsamer bewegt sich der Laststützpunkt in Richtung zum Zentrum.

FIG.22 zeigt ein weiteres Beispiel eines nach im Anspruch 1 definierten Verfahren gestalteten virtuellen Pendels.

An mit der Basis 6 verbundenen Tragstrukturen 5 werden mindestens zwei oder mehrere zweiachsig gelenkig gelagerte stabile Stützelemente, vertikal parallel hängende Pendel 2 gehalten, die einen an ihrem unteren Ende gelagerten Träger, oder ein Plattform-Koppelement 8 tragen.

Im Zentrum des Koppelements 8 ist ein in einem Vertikallast aufnehmenden Lager 59 gehaltenes vertikales Stützelement 14 angeordnet, das sich an seinem unteren Ende um zwei waagerechte Achsen schwenkbar in einem Gelenklager 43 axial verschiebbar, horizontal abstützt. In diesem Gelenklager 43 kann das vertikale Stützelement 14 um horizontale Achsen kippen.

Das Zentrum des Lagers 59 hat die gleiche räumliche Bewegungsfähigkeit wie die unteren Enden der hängenden Pendel 2 mit der Länge  $l_n$  und erfährt bei horizontaler Auslenkung  $e$  eine Anhebung um den Betrag  $h$ .

Das obere Ende des vertikalen Stützelements 14 erfährt in Einheit mit seiner Lagerung im Lager 59 die Anhebung  $h$ , der sich gleichzeitig die Absenkung  $s_e$  überlagert. Die resultierende Anhebung ist  $h_{res} = h - s_e$ .

In dem Beispiel der FIG.22 wird für das obere Ende des Stützelements 14 die resultierende Anhebung negativ, es erfolgt also eine Absenkung. Dieser obere Punkt wäre somit als Laststützpunkt negativ.

Der obere Punkt beschreibt bei Verlagerung aus der Mittellage in allen Richtungen eine von oben gesehen konvexe Fläche, wie das obere Ende eines am unteren Ende gelagerten Pendels. Dies bildet ein umgedrehtes, instabiles virtuelles Pendel mit der Länge  $l_v$ .

5 Das Stützelement 14 ist bei vertikaler Belastung am oberen Ende in dieser Dimensionierung in Relation zu den Dimensionen der anderen gekoppelten Elemente 2 und 8 instabil.

Für sich allein ist das Stützelement 14 ohne Koppelung an andere Elemente ohnehin instabil. Erst durch Koppelung an andere Elemente, deren stabilisierender Einfluß unter Lasteinwirkung überwiegt, wird das Gesamtsystem stabil und bildet als Tragvorrichtung ein  
10 virtuelles Pendel.

Es muß, um Laststütz-Stabilität zu erzielen, die Länge  $l_0$  so gewählt werden, daß eine positive Anhebung  $h_{res}$  des oberen Punktes entsteht. Damit bewegt sich der Laststützpunkt in einer von oben gesehen konkaven Fläche. Dieser so gewählte Laststützpunkt mit dem Abstand  $l_0$  von dem Lagerpunkt 59 erfährt bei Verlagerung aus der Mittellage eine geringe  
15 Anhebung  $h_p$  und stellt den Endpunkt eines virtuellen Pendels mit der Länge  $l_v$  dar.

FIG.23 zeigt die Krümmungen der Bewegungsbahnen der Traglastpunkte der hängenden Pendel 2, des Zentrums des Koppellements 8 und des Laststützpunktes am oberen Ende des vertikalen Stützelements 14.

FIG.23a, 23b, 23c zeigen Bewegungsphasen des getragenen Objekts 1 relativ zur  
20 Basis 6 in den Extremlagen und überlagert.

FIG.24 stellt in schematischer Darstellung ein virtuelles Pendel nach dem in FIG.22 und 23c erklärten Wirkungsprinzip dar, wobei die Stellung in Mittellage gezeigt wird sowie die Bewegungsphasen der Basis 6 in Relation zum getragenen Objekt 1. Bei der schwingenden horizontalen Verlagerung  $e$  der Basis 6 durch Erdbeben erfährt das getragene  
25 Objekt 1 durch das virtuelle Pendel eine Anhebung um den geringen Betrag  $h_p$ .

Die Relation der Größe des Schwinghubs  $s$  der Basis 6 zur Bauhöhe des Erdbebenschutz-Moduls  $H_M$  zeigt, daß bei einer durchschnittlichen Geschoßhöhe bereits relativ große Schwingweiten des Systems möglich sind.

Das Bewegungsverhalten entspricht dem des mathematischen Pendels. Die Zeitdauer  
30 der Eigenschwingung wird nur durch die wirksame Länge des virtuellen Pendels bestimmt.

Das Uhrenpendel zeigt dies anschaulich.

Bewegt sich der mit der schwingenden Basis verbundene obere Aufhängepunkt des Pendels bei einem Erdbeben schnell hin und her, so kann die an dem unteren Ende des virtuellen Pendels hängende Masse wegen seiner durch das Pendel bestimmten  
35 Bewegungs-Trägheit der schnellen Umkehr der Bewegung des oberen Aufhängepunktes nicht mehr folgen. Bei schnellem Wechsel der Bewegungsrichtung verbleibt die getragene Masse nahezu auf der Stelle.

### 4.3 Ergebnis der Problemlösung

Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Schritten gemäß Anspruch 1 und die daraus abgeleiteten und beschriebenen Vorrichtungen gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung bilden die Gegenstände der Unteransprüche.

- 5 Die Erfindung gewährleistet eine Resonanzfreiheit des Gebäudes bei Bodenschwingungen durch Erdbebenbewegungen, wobei die horizontalen Beschleunigungs- und Stoßkräfte aus der Bewegung des Bodens nicht mehr auf den Gebäudekörper übertragen werden. Dies stellt damit einen integralen Erdbebenschutz sicher, der auch bei stärksten horizontalen Bodenschwingungen den Baukörper oder das Objekt zuverlässig
- 10 schützt.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es bei entsprechender Wahl der Auslegungsparameter möglich, ein Verhalten des gestützten Objekts zu erzielen, daß es nahezu in Ruhelage verbleibt, auch wenn der Boden mit großen Amplituden und hohen Beschleunigungen sich bewegt.

- 15 Das zur Anwendung gelangende Verfahren bewirkt, daß die Periode der Eigenschwingung so verlängert wird, daß die damit verbundene Bewegungsträgheit dazu führt, daß das Objekt der oszillierenden Erdbebenbewegung der Basis nicht mehr folgen kann. Der Schutz der Objekte ist hierbei so weitgehend, daß die zu schützenden Gebäude oder Anlagen in Ruhelage bleiben, selbst bei Beben größter Magnitude.
- 20 Die Wirksamkeit ist mathematisch transparent nachweisbar.

Die Funktion der Erfindung und der integrale Schutz konnte bereits durch Modell-Simulation mit Beschleunigungen bis 1,2 g demonstriert werden.

- Somit wird das Objekt gegenüber der horizontalen Bewegung des Bodens vollständig isoliert, es handelt sich also um eine wirkungsvolle Basis-Isolation durch Abstützung über
- 25 eine Tragstruktur, die bei geringer eigener Bauhöhe an den Stützpunkten dem getragenen Objekt die räumliche Bewegung ermöglicht, als hinge es an sehr langen Pendeln. Die Abstützung erfolgt somit über virtuelle Pendel langer Periodendauer.

- Die Auslegungsparameter sind in weiten Grenzen wählbar. Hierdurch kann der Unterschied zwischen der Frequenz der Eigenschwingung des Systems und den
- 30 Frequenzen üblicher Erdbebenschwungung frei bestimmt und so groß gewählt werden, daß die Schwingssysteme des Gebäudes und der Basis weitestgehend entkoppelt werden, so daß die tragene Struktur in Ruhelage verbleibt.

- Da der Baukörper den schnell wechselnden Bewegungen des Bodens nicht folgt, werden auch keine aus Beschleunigungen hervorgerufenen Massenkräfte wirksam. Es entstehen
- 35 keine gefährlichen Schubspannungen und Erdbebenschäden werden verhütet.

Erdbebenschutz-Module in Form virtueller Pendel bieten einen effektiven Schutz selbst gegen Erdbeben mit größter Magnitude und mit dem größten Zerstörungspotential. Erstmals ist es möglich, jede Art von Gebäuden auch Hochhäuser und andere Strukturen völlig erdbebensicher zu planen und ebenso bestehende Objekte nachzurüsten.



Die Gebäudemasse hängt gleichsam an virtuellen Pendeln mit großer wirksamer Pendellänge, wobei der Aufhängepunkt hoch über dem Gebäude im Raum sich befindet.

Das neuartige Erdbebenschutz-Modul realisiert das Bewegungsverhalten eines sehr langen Pendels ohne eine große vertikale Erstreckung zu haben, es stellt damit ein virtuelles  
5 Pendel mit großer wirksamer Pendellänge dar. Mit einer nur geringen Bauhöhe findet es in einer Geschoßhöhe Platz und kann zu ebener Erde oder im Keller angeordnet werden.

Der obere Aufhängepunkt des virtuellen Pendels ist durch das Erdbebenschutz-Modul mit der Basis fest verbunden.

Eine an einem sehr langen Pendel hängende Masse kann sich nur langsam bewegen.  
10 Die Zeit für eine Schwingung ist groß. Die Periodendauer einer Schwingung kann mit dieser Technik frei gewählt und die Bauteile danach ausgelegt werden z. B. für 20 Sekunden oder länger. Die Zeit einer Erdbebenschwingung liegt typischerweise im Bereich von 0,5 bis 2 Sekunden. Wenn sich der Aufhängepunkt des Pendels schnell oder sprunghaft verlagert, so folgt eine an dem Pendel hängende Masse in die neu bestimmte Position nur mit der  
15 Geschwindigkeit, die dem Schwingverhalten des Pendels großer Länge entspricht.

Die Magnitude des Erdbebens hat keinen Einfluß. Es spielt keine Rolle, wie schnell die Erde sich bewegt, wie stark das Fundament des Gebäudes beschleunigt wird, wie hoch oder wie niedrig die Frequenz der Erdbebenschwingung ist oder wie harmonisch oder disharmonisch die Bewegung abläuft, das Ergebnis ist immer dasselbe.

20 Die auf das Gebäude übertragbare Beschleunigung wird reduziert auf Werte von weniger als 0,01g, ein Wert, der physisch kaum wahrgenommen wird.

Die schützende Wirksamkeit dieses Prinzips ist immer gleich bei allen vorkommenden Bodengeschwindigkeiten und Beschleunigungen.

25 So bewegt sich auch bei den allerstärksten Erdbeben das Gebäude ebenso wenig wie bei schwachen Beben.

Bei der erfindungsgemäßen Lösung werden keine Energien umgeleitet, umgewandelt oder absorbiert, vielmehr wird keine Bewegungsenergie in den Baukörper übertragen.

Da dem Baukörper keine schnell wechselnden Bewegungen aufgezwungen werden, werden auch keine aus Beschleunigungen hervorgerufenen Massenkräfte wirksam,  
30 Erdbebenschäden werden verhütet.

Somit wird das Objekt gegenüber der horizontalen Bewegung des Bodens vollständig isoliert, es handelt sich also um eine höchst wirkungsvolle Basis-Isolation.

Aus diesem Grund werden auch keine erdbebenbedingten konstruktiven Verstärkungs-  
35 maßnahmen für die Gebäudestruktur notwendig, wie sie für Standard-Bauweisen durch Bauvorschriften zum Erdbebenschutz gefordert werden.

Eine Modell-Simulation hat die vorausberechnete und erwartete Wirkungsweise bereits unter Beweis gestellt.

#### 4.4 Stark verringerte Reibung bei horizontaler Verschiebung

Bei der vorliegenden Erfindung wird die physikalisch vorhandene Reibung an den Lagerstellen der Strukturelemente der konstruktiven Lösung, bedingt durch den prinzipiellen Aufbau der Problemlösung nur stark reduziert wirksam bei der effektiven Reibung, die als Verschiebewiderstand der bewegten Masse in Erscheinung tritt.

Es stellt sich ein extrem niedriger effektiver Reibungskoeffizient ein. Hierdurch werden somit auch durch Reibung keine nennenswerten Beschleunigungskräfte von der Basis auf den getragenen Baukörper übertragen. Das Gebäude hat demzufolge somit auch eine leichte Verschiebbarkeit gegenüber der Basis. Windkräfte können das getragene Objekt aus seiner Mittellage des Bewegungsbereichs verschieben und damit in einer Richtung bei Auftreten von Basisverschiebung bei Erdbeben den verfügbaren Schwingausschlag relativ zur Basis verkürzen.

Die Konzeption der Tragstruktur der neuen Lösung führt dazu, daß die physikalisch wirksame Reibung durch einen hohen Reduktionsfaktor auf sehr geringe Werte reduziert wird. Der Verschiebewiderstand ist

$$W = m * g * \mu_{red} \quad (16)$$

erreichbar sind Werte:  $\mu_{red} = 0,002 \dots 0,004$

Hierdurch werden auch über die noch wirksame Reibung nur sehr geringe Kräfte zur Beschleunigung der gestützten Masse übertragen.

In keinem Fall darf durch diesen Einfluß der mögliche Schwingausschlag kleiner werden als die eventuelle Schwingamplitude eines Erdbebens oder gar zu Null werden.

Es ist also notwendig zur primären Aufgabe, das zu schützende Objekt von den Bodenbewegungen isoliert zu tragen, zusätzlich in die Gesamtlösung Elemente zu integrieren, welche die zentrierte Ausgangslage bei Einsetzen von Erdbebenschwingungen sicherstellen.

#### 4.5 Zentrierung des getragenen Objekts und Windkraftabstützung

Die Bewegung der Lagerpunkte des getragenen Objekts auf den Erdbebenschutz-Modulen erfolgt in einer sehr flachen, von oben konkaven sphärischen Fläche, wobei die Sphäre keinen exakten Kugelschalenausschnitt darstellt, sondern nur näherungsweise. Die Krümmung der Fläche ist über der Auslenkung aus der Mittellage nicht konstant, was aber der Funktionalität des Systems keinen Abbruch tut. Aufgrund der Anhebung bei vollem Ausschlag erfolgt eine Rückstellkraft durch die Gravitation, wodurch eine selbstzentrierende Wirkung des Lagerpunktes bewirkt wird. Allerdings erfolgt die Rückführung in die Mitte nicht vollständig aufgrund der vorhandenen Reibung, obwohl sie sehr gering ist.

Der horizontal wirksame Schub, die Rückstellkraft bei Auslenkung aus der Mittellage aus der Massenkraft des an virtuellen Pendeln hängenden Objekts ist

$$S_H = m \cdot g \cdot \frac{e}{l_v} \cdot \cos \left[ \arcsin \left( \frac{e}{l_v} \right) \right] \quad (17)$$

5

$S_H$  ..... horizontaler Schub durch Gravitation

$m$  ..... getragene Masse

$g$  ..... Erdbeschleunigung

$e$  ..... Auslenkung von der Mittellage

$l_v$  ..... Länge des virtuellen Pendels

Der horizontale Widerstand durch Reibung gegen Verschiebung ist

$$W_H = m \cdot g \cdot \mu_{red} \quad (18)$$

10

$W_H$  ..... horizontaler Widerstand  
gegen Verschiebung

$\mu_{red}$  ..... reduzierter Reibungskoeffizient

Der horizontale Widerstand gegen Verschiebung ist bedingt durch die Konzeption der Erdbebenschutz-Module extrem niedrig.

15

Der Reibungs-Koeffizient wird reduziert im Verhältnis der halben Lagerdurchmesser der Pendellagerungen der Stützelemente zu der wirksamen Länge der Pendel.

Der reduzierte Reibungskoeffizient wird

$$\mu_{red} = \mu \cdot \frac{D_L/2}{l_p} \quad (19)$$

20

$\mu$  ..... Reibungskoeffizient der  
Lagerausführung der Pendel

$D_L$  ..... Durchmesser der Lager der  
Stützelemente, Pendel

$l_p$  ..... Länge des Stützelements, Pendels

Da auslegungsgemäß die Krümmung der Bewegungsfläche des Endpunktes des virtuellen Pendels wegen der angestrebten Wirkung der Entkopplung von den Bodenbewegungen im Mittelbereich sehr flach ist, entsteht dennoch trotz der extrem niedrigen Reibung nach Ausschwingen eine Hysterese mit einer horizontalen

Ablage von der Mittellage

$$A_H = l_v / \sin (\arcsin \cdot \arccos \mu_{red}) \quad (20)$$

30

$A_H$  ..... horizontale Ablage vom Mittelpunkt

Die Konzeption der Erdbebenschutz-Module läßt es zu, daß die vorzusehenden Schwingweiten großzügig ausgelegt werden können, so daß im Falle von extremen Bodenbewegungen genügend Freiraum zum Schwingen relativ zur Basis vorhanden ist, auch wenn die Ausgangslage zur Schwingung nicht der Mittelpunkt war. So kann unter dem  
5 Einfluß von Driftung durch Windkräfte und durch das jeweilige Ausschwingen nach einem Beben die Position des Gebäudes verschieden sein. Wo dies nicht stören würde, könnte man ohne eine zusätzliche Zentrierung des Gebäudes und Abstützung gegen Windkräfte auskommen. Wo aber die Forderung besteht, daß das Gebäude immer auf dem gleichen Punkt bleibt, ist eine zusätzliche Einrichtung zur exakteren Zentrierung notwendig.

10 **FIG.25** zeigt eine einfache Lösung einer Horizontal-Abstützung. Eine solche Vorrichtung wird an mindestens zwei Stellen des Gebäudes benötigt, kann aber auch in die einzelnen Erdbebenschutz-Module integriert werden.

Eine vorgespannte Zugfeder **41** ist mit ihrem unteren Ende mit der Basis verbunden. An  
ihrem oberen Ende trägt die Zugfeder den Zapfen **42**, der in ein sphärisches Gelenklager **43**  
15 axial verschiebbar hineinragt, welches fest mit der getragenen Struktur verbunden ist. Die Zugfeder **41** ist soweit vorgespannt, daß die horizontale Hebelkraft in der Höhe des Gelenklagers **43** der maximal erwartbaren Windkraft entgegenwirkt, ohne daß durch Biegung der Zugfeder **41** und Abheben der Windungen auf einer Seite der Feder der Zapfen **42** eine Schrägstellung erfährt. Erfolgt jedoch eine horizontale Bewegung der Basis gegenüber der  
20 getragenen Gebäudemasse durch ein Erdbeben mit einer hohen Beschleunigung, wodurch ein Impuls aus der Gebäudemasse entsteht, der die Wirkung von Windlast deutlich übersteigt, so wird durch das hervorgerufene Moment über den Hebel des Zapfens **42** die Feder **41** gebogen. Die Basis erfährt gegenüber dem Gebäude eine Verlagerung  $\epsilon$ . Bei weiterer Verschiebung nach Überwindung dieses Anfangsmoments nimmt die Größe der  
25 Kraft nicht mehr linear, sondern degressiv zu. Auf diese Weise wird die Reaktionskraft aus der Feder über den Schwinghub  $S$  klein gehalten.

Diese Horizontal-Abstützung kann auch in umgekehrter Anordnung Anwendung finden, wobei das Gelenklager **43** mit der Basis **6** verbunden oder in dem Fundament bündig eingelassen ist, und das Ende des Zapfens **42** mit der Feder **41** hängend an einer  
30 getragenen Gebäudestruktur **51** befestigt ist.

**FIG.26** zeigt eine vergleichbare Lösung zur Zentrierung des Gebäudes mit einem Federblock **48** aus Elastomer-Werkstoff. Bei entsprechender Dimensionierung des Federblocks ist das Verhalten vergleichbar mit der Lösung in FIG.25. Nur ist kein ausgeprägtes Losbrechmoment wirksam. Von Anfang an erfolgt die Bewegung stetig in  
35 Abhängigkeit von der Horizontalkraft. Die umgedrehte Anordnung ist auch bei dieser Ausführung möglich.

**FIG.27** zeigt eine Vorrichtung zur Zentrierung des Gebäudes, bei der eine Haltevorrichtung **50** sich an mindestens zwei Punkten fest verbunden unter der getragenen Gebäudestruktur **51** befindet. Eine in einem Kugelbett **49** gelagerte Rollkugel **44** wird in einen  
40 Zentriertrichter **45** durch eine Feder **47** mit der Vertikalkraft  $F_v$  gedrückt, die mit der maximal

erwartbaren durch Luftkräfte am Gebäude bewirkten Horizontalkraft  $F_h$  im Gleichgewicht steht.

$$F_v = F_h \operatorname{tg}(\gamma/2) \quad (21)$$

$F_v$  .....Vertikalkraft

$F_h$  ..... Horizontalkraft

$\gamma$  ..... Öffnungswinkel des Zentriertrichters

5  
10 Wird die Kraft  $F_v$  größer, als sie durch Windkraft hervorgerufen werden kann, und die dann aus dem Impuls beim Erdbeben herrührt, wird durch horizontales Verschieben des Zentriertrichters 45 mit der Basis 6 die Rollkugel 44 gegen die Feder 47 über einen Kolben 52 zurückgedrückt und gelangt in den Bereich des Zentriertrichters 45 mit abnehmender Neigung beziehungsweise größer werdenden Öffnungswinkel  $\gamma$ . Hierdurch nimmt die horizontal übertragbare Kraft ab und wird Null, sobald die Kugel den Bereich des Trichters verläßt und auf der ebenen Fläche rollt.

15 Das durch den Kolben 52 verdrängte Fluid gelangt über ein Rückschlagventil 53 in einen externen Vorratsbehälter oder in den integrierten Ausgleichsraum 55. Beim möglichen Zurückfedern wird die Geschwindigkeit des Ausfahrens des Kolbens dadurch gebremst, daß das Fluid nur über eine Drosselblende 30 zurückfließen kann.

20 Beim schnellen Schwingen der Basis landet die langsam zurückkommende Rollkugel 44 nicht wieder im steileren Zentrum des Zentriertrichters 45, sondern im Bereich mit geringer Neigung. Demzufolge sind die übertragbaren horizontalen Kräfte gering.

Wenn das Schwingen zum Stillstand kommt, setzt sich die Rollkugel 44 im steileren Bereich des Zentriertrichters ab und zentriert das getragene Objekt mit der dann wieder wirkenden erhöhten horizontalen Haltekraft  $F_h$ .

25 Fig.28 stellt eine andere Form der Gebäudezentrierung und Windkraftabstützung dar. Zwischen einer Seitenwand eines Gebäudeuntergeschosses 22 und einer Fundamentwand 20 an der Basis 6 sind an zwei sich gegenüberliegenden Seiten mindestens zwei und an den übrigen beiden Seiten eines rechteckigen Gebäudes mindestens je ein Abstützelement, Horizontalabstützung 24 angeordnet. Die Horizontalabstützung 24 ist in der vertikalen Draufsicht der horizontalen Lage dargestellt, wobei die Laufrichtung der Rolle 25 horizontal ist und auf gleicher Höhe der vertikalen Fundamentwand 20 verläuft. Alle übrigen  
30 Objekte der schematischen Darstellung sind in horizontaler Sicht eines vertikalen Schnitts gezeigt. Die Horizontalabstützung 24 besteht aus einem Hydraulik-Zylinder 40 mit voll gegen Anschlag ausgefahrener Kolbenstange, die an ihrem Ende mit einem Fahrwerk versehen ist mit einer Rolle 25 oder mehreren Rollen. Zwischen Rolle und einer Lamelle 26 an der Wand der Basis als Rollbahn ist ein minimaler Luftspalt vorgesehen bei genau zentriertem  
35 Gebäudeunterteil innerhalb der Basis. Die Rollrichtung der Rollen ist horizontal ausgerichtet. Damit die Kolbenstange mit dem Rollenfahrwerk seine Richtung beibehält, ist das Ende der Kolbenstange mit dem Zylinder 40 über ein Kniegelenk-Gestänge als Drehsicherung verbunden. Wenn die Wand des Fundaments 20 sich auf das Untergeschoß 22 des  
40 Baukörpers zubewegt, wird über die Rolle 25 und Kolbenstange der Kolben in den Zylinder 40 eingefahren und verdrängt darin vorhandenes Fluid und fördert es in einen oder mehrere Hydraulik-Akkumulatoren 127, die als Membran-, Blasen- oder Kolbenspeicher

ausgebildet sein können, und verdichten auf der anderen Seite der Membran 28 ein Gas, Luft oder Stickstoff. Damit wirkt der Hydraulik-Zylinder wie eine Federstütze mit Gasfederung. Ist die Kolbenstange voll ausgefahren gegen den mechanischen Anschlag im Zylinder 40, so befindet sich ein über die Kolbenstange gesteuertes Regelventil 29 in

5 Öffnungsstellung. Der Gasdruck in den Akkumulatoren drückt das Fluid durch die Drosselblende 30 über das geöffnete Ventil in den Rücklauf zum Vorratsbehälter 32. Wird die Kolbenstange durch die Annäherung der Fundamentwand 20 an das Untergeschoß 22 des Gebäudekörpers in den Zylinder eingefahren, so wird das Regelventil 29 geöffnet und aus der Druckleitung 33 gelangt Fluid in die Hydraulik-Akkumulatoren 27, so daß sich ein

10 Druck aufbaut solange, bis die daraus resultierende Kraft im Zylinder die Kolbenstange ausfährt und den Gebäudekörper wieder in seine Nullstellung bringt. Somit wird das Gebäude in seine Mittelstellung gebracht. Dieser Vorgang ist wirksam, wenn durch Windkraft das Gebäude wegen seiner leichten Verschiebbarkeit gegenüber der Basis aus seiner Mittelstellung geschoben wird. Da die Windkräfte sich nicht sprunghaft ändern, sondern zum

15 Auf- und Abbau immer eine gewisse Zeit notwendig ist, ist der Vorgang mit dem Zufluß und Abfluß von Fluid über die Drosselblende hinreichend schnell, um den Regelvorgang beim Sollwert, das heißt, das Gebäude in der Mittelstellung zu halten. Erfolgt die Annäherung der Basiswand an das Gebäude in schnellerer Folge, wie dies beim Erdbeben der Fall sein würde, so sind mit dem schnellen Einfedern des Kolbens und damit Öffnen und jeweils

20 Schließen des Ventils in schneller Folge über die Drosselblende 30 die Zu- und Abflüsse von Fluid in das Luftfeder-System und wieder heraus gering. Die Gasfederkraft im Zylinder 40, die mit der jeweiligen Luftkraft zunächst in Balance war, variiert durch die flache Federkennung und das Ein- und Ausströmen durch die Drosselblende 30 in der Frequenz des Bebens bei Bewegungen des Kolbens und des Regelventils 29 nur gering. Das System

25 kann so ausgelegt werden, daß diese zur Beschleunigung wirksam werdenden Kräfte so klein bleiben, daß sie bezogen auf die Gebäudemasse nur sehr geringe wirksame Beschleunigungen in schneller Folge im Wechsel der Frequenz des Bebens zur Folge haben. Das Hydraulik-System wird zentral versorgt aus einem Vorratsbehälter 32 und über eine Pumpe 36, die von einem Motor 34 angetrieben wird, der über einen

30 Druckregelschalter 35 gesteuert wird. Die Energieversorgung für den Antrieb könnte autonom durch Solar- oder Windenergie bereitgestellt werden. Die Hydraulik-Energie wird in einer Batterie von Hydraulik-Druckspeichern 38 gepuffert, so daß die Leistung der Pumpe 36 gering gehalten werden kann. Während eines Bebens steht reichlich externe Energie zur Verfügung, die in dieser Anlage gleichzeitig genutzt werden kann, so daß in einer Variante

35 der Kolben der Horizontalabstützung mit einer Kolbenpumpe 37 kombiniert wird. Während der schnellen Bewegung der Basis gegenüber dem Baukörper fördert somit diese Kolbenpumpe 37 Fluid aus dem Vorratsbehälter 32 in die Druckspeicher 38 und deckt damit den Massenstrom ab, der dadurch entsteht, daß Fluid aus dem Federungssystem, bestehend aus Zylinder 40 und Akkumulator 27, über die Drosselblende 30 durch das mit der

40 Frequenz des Bebens während einer Halbschwingung öffnende Regelventil 29 in den Rücklauf fließt.

Fig.29 zeigt eine Horizontalabstützung über eine Schwinge 39. Mit einer solchen Ausführung sind besonders große Schwingausschläge und Abstandsänderungen zur Fundamentwand möglich. Die Schwinge 39 ist an einem am Gebäudekörper befestigten

45 Gestell 46 gelagert und über einen Zylinder 40 oder mehrere Zylinder an der Gebäudewand des Untergeschosses 22 abgestützt und trägt am Ende ein Rollenfahrwerk mit einer oder je nach Abstützungslast mehreren Rollen 25, die sich auf einer Lamellen-Laufbahn 26 an der

Wand des Fundaments 20 bewegen können. Anstelle von Rollen können auch Gleitschuhe Verwendung finden mit entsprechenden Gleitwerkstoffen. An dem Gestell 46 befindet sich ein Regelventil 29, welches von der Schwinge 39 betätigt wird und die gleiche Funktion hat, wie in dem Beispiel nach Fig.28. Im übrigen entspricht die hydraulische Ausrüstung dem Beispiel in Fig.28.

Auch diese Vorrichtung wird pro Bauwerk in mindestens sechs Exemplaren benötigt, um die Soll-Lage des Gebäudes in drei Achsen, nämlich in zwei horizontalen und einer vertikalen Achse zu erhalten. Diese Schwingausführung der Horizontalabstützung ermöglicht große Beträge der Schwingweite des Gebäudes gegenüber der Basis.

Das Federungssystem, bestehend aus dem Hydraulik-Zylinder 40 und nachgeschalteten Hydraulik-Akkumulatoren wie dem Beispiel gemäß Fig.28, hat ohne äußere horizontale Verschiebekräfte durch Wind eine Anfangs-Federkennung nach der Funktion

$$F_o = C_o \cdot f \quad (22)$$

wobei  $f$  der Federweg ist. Bei größeren Federwegen erfolgt die Kennlinie nicht linear, sondern aufgrund der Verdichtung des Gases entsprechend der Funktion einer polytropen Kompression. Bei wechselnder Verlagerung des Fundaments gegenüber dem getragenen Baukörper um den Betrag  $\epsilon$  wird die durch die Federung entstehende Kraft  $\Delta F_o$  wirksam als Beschleunigungskraft auf die Baukörpermasse. Bei Wind steigt die Abstützkraft des Systems entsprechend der Windkraft selbsttätig an, wie im Beispiel nach Fig.28 beschrieben, ohne daß der Baukörper sich wesentlich in seiner Lage verändert hat. Erfolgt nun, während eine Windlast  $F_w$  abgestützt wird, gleichzeitig eine Bewegung durch Erdbeben und eine Verlagerung der Basis gegenüber dem Gebäude um den Betrag  $\epsilon$ , so steigt die Kraft in dem Abstütz-Federungssystem an nach der Funktion

$$F_w = C_z \cdot f + F_w \quad (23)$$

Diese Funktion hat eine etwas höhere Steilheit als die, die vom Nullpunkt ausgeht, weil sich das Verhältnis von verdrängtem Fluid-Volumen bei Einfederung zum Gasvolumen verändert hat. Bei der Einfederung um den Betrag  $\epsilon$  ist nun die Abstützkraft um den Wert  $\Delta F_w$  angestiegen und nur diese Differenzkraft  $\Delta F_w$  wirkt sich als Beschleunigungskraft auf die Gebäudemasse aus und ist nicht viel größer als die Kraft  $\Delta F_o$  bei Windstille.

Fig.30 stellt im wesentlichen eine gleiche Horizontalabstützung über eine Schwinge dar, wie sie für Fig.29 beschrieben ist. Diese Vorrichtung ist zusätzlich ausgerüstet mit einer Kolbenpumpe, die zwischen der Schwinge 39 und dem Gestell 46 angeordnet ist wie der Zylinder 40. Die Kolbenpumpe 37 hat die gleiche Funktion, wie sie bei der Vorrichtung gemäß Fig.28 beschrieben ist.

FIG.31 zeigt das Prinzip eines Zentrier- und Windkraftkompensations-Systems, bei dem unter den Untergeschossen eines Gebäudes 51, das von Erdbebenschutz-Modulen 56 gestützt wird und das gegenüber der Fundamentwand 20 gegen Windkraft durch Zentrierung und Windkraft-Haltevorrichtungen 27 horizontal abgestützt wird, ein separater Gebäudeteil mit einem oder mehreren Untergeschossen 22 von dem oberen Gebäude getrennt auf eigenen Erdbebenschutz-Modulen 56 vertikal gestützt wird.

Da dieser Gebäudeteil 22 besonders reibungsarm und selbstzentrierend gelagert und keiner Winddrift ausgesetzt ist, benötigt er auch keine Windkraft-Haltevorrichtung, ist immer in seiner Mittelstellung auch bei schwingender Basis und dient als Lage-Referenz für die Zentrierung. Durch mechanische oder berührungslose Distanzmessung in zwei Achsen  
5 zwischen jeweils zwei Referenzpunkten 60 am jeweils oberen und unteren Gebäudeteil wird die Stellgröße für die Regelung der Windkraft-Haltevorrichtung 27 ermittelt.

#### 4.6 Vertikale Schwingungsisolation des gestützten Objekts

Für Bauwerke mit einem bestimmten Verhältnis der Höhe zur Breite, bei denen keine gravierende Kippneigung der Gebäude-Hochachse besteht, kann eine zusätzliche  
10 Einrichtung vorgesehen werden, um vertikale Beschleunigungen zu reduzieren oder weitgehend zu eliminieren.

Dies wäre vorteilhaft bei Krankenhäusern und Industrieeinrichtungen mit empfindlichen Produktionsprozessen und bei Chemie- und Nuklearanlagen.

Ein mit dieser Technologie gestütztes Gebäude bleibt nahezu still im Raum stehen.

15 Die Massenträgheit des Gebäudes gegenüber den Beschleunigungen der horizontal schwingenden Basis ruft als Reaktion Schubkräfte in der Gebäudestruktur hervor, die bei Erdbeben häufig zur Überschreitung der in den Baustoffen ertragbaren Schubspannungen führen. Die durch die Horizontalschwingungen bedingten Scherkräfte sind hauptsächlich Ursache für das Versagen der Gebäudestruktur. Dagegen werden vertikale  
20 Beschleunigungen von einem Gebäude eher, ohne Schaden zu nehmen, ertragen, weil bei der Festigkeitsauslegung eines Gebäudes den statischen Eigen- und Betriebslasten über einen Sicherheitsfaktor oder Werkstoff-Anstrengungsgrad ein Lastvielfaches hinzugerechnet wird. Somit resultiert aus der Vertikalbeschleunigung der Basis im allgemeinen keine Strukturgefährdung, es sei denn, daß bei Überschreiten von 1g-Vertikalbeschleunigung bei  
25 ungenügender Befestigung das Objekt aus seiner Fundamentverankerung gerissen wird und durch weitere Einflüsse geschädigt wird.

Wird dennoch eine vertikale Schwingungsdämpfung als zweckmäßig erachtet, so kann das Erdbebenschutz-Modul mit einer zusätzlichen Vertikal-Federung ausgerüstet werden.

FIG.32 zeigt schematisch ein Beispiel einer Federung der getragenen  
30 Gebäudestruktur 51. Die Gebäudestütze 16 ist als Hydraulikzylinder 64 mit integriertem Niveauregelschieber 61 ausgebildet und trägt auf der Kolbenstange 62 die Traglast. Am unteren Ende des Zylinders ist das Koppellement 8 des Erdbebenschutz-Moduls einachsrig gelenkig gelagert. Die Schwinghebel 63 wirken als Drehsicherung für den auf- und abgleitenden Zylinder 64, damit das Koppellement 8 keine Drehung um die Vertikalachse  
35 machen kann.

Der Zufluß des Fluids erfolgt über den Druckanschluß 65, über den Rückfluß 66 wird der Fluid-Kreis der Federungsstütze entlastet. Der Zylinderdruckraum 67 ist über den Leitungsanschluß 68 mit einem oder mehreren Hydraulik-Druckspeichern 38 verbunden. Mit dem Volumen der Hydraulik-Druckspeicher wird die hydropneumatische Federkennung  
40 bestimmt.



Wenn über dem Hub des Zylinders durch eine Vertikalbewegung der Basis das Volumen des im Zylinder verdrängten Fluids im Verhältnis zum Volumen im Hydro-Druckspeicher gering ist, so steigt der Druck im Hydraulik-Druckspeicher nur gering an.

- 5 Der Quotient aus Druckanstieg zum Ausgangsdruck stellt den Beschleunigungsgrad bezogen auf 1g dar, mit dem die getragene Masse eine Vertikalbeschleunigung bei vertikalen Bodenbewegungen erfährt. Durch entsprechende Auslegung kann so jede gewünschte Beschleunigungs-Reduzierung erreicht werden. Besonders vorteilhaft lassen sich mit viskoelastischen Fluids sehr flache Federungskennungen erzielen.

- 10 **FIG.33** zeigt eine der Ausführung nach **FIG.32** vergleichbare Vertikalfederung, nur daß hier die Federstütze **69** auf einem Erdbebenschutz-Modul **56** nach dem Schema gemäß **FIG.21** gestützt ist, in das eine Zentrier- und Windkraft-Abstützvorrückung **70** nach dem Schema gemäß **FIG.25** integriert ist. Die Hydraulik-Anschlüsse **65**, **66**, und **68** sind wie im Beispiel nach **FIG.32** Zu- und Rückfluß für das Fluid sowie die Verbindung zu Hydraulik-Druckspeichern **38**.

#### 15 4.7 Erdbebensicherung von Objekten auf Pfählen durch virtuelle Pendel

Objekte wie Beleuchtungskörper oder Anzeigetafeln auf Masten oder Pfählen laufen bei starken horizontalen Bodenschwingungen Gefahr abzuknicken oder abzubrechen, da Bewegungsverstärkung und Zunahme von maximaler Beschleunigung durch Schwingungsresonanz entstehen kann.

- 20 Während die Basis bei Bodenschwingungen in horizontaler und vertikaler Richtung im wesentlichen in ihrer Lage der Ausgangslage parallel bleibt, so erfährt das obere Ende eines Pfahles oder Mastes als Basis eines Objekts oder eines Erdbebenschutz-Moduls eine zusätzliche Bewegungsachse durch Biegung des Pfahls und eine Neigung der erhöhten Basis durch Schiefstellung, wie

- 25 **FIG.34** dies veranschaulicht. Die Größe der an der Mastspitze getragenen Masse hat einen starken Einfluß auf das Schwingverhalten des Mastes. Das Biegemoment aus der Massenreaktionskraft bei Horizontal-Beschleunigung ist bei Masten ohne Toplast geringer und nur durch die eigene Masse verursacht, die Biegung und der Neigungswinkel des oberen Ende des Mastes werden geringer.

- 30 Wird zwischen Mastende und getragenen Objekt ein Erdbebenschutz-Modul angeordnet, so wird die Mastspitze nur noch zusätzlich durch die Masse des Erdbebenschutz-Moduls belastet, die wesentlich geringer sein kann als die Masse des getragenen Objekts. Der Biegewinkel des Mastendes wird dadurch geringer.

- 35 Damit das getragene Objekt nicht der noch vorhandenen Neigungsänderung des Mastendes ausgesetzt wird, weil ein dadurch bedingtes Schütteln um eine Kippachse das Objekt dennoch gefährden oder funktionsuntüchtig machen kann, muß auch die restliche Neigungsänderung durch ein Erdbebenschutz-Modul kompensiert oder wenigstens weitgehend verringert werden.

- 40 **FIG.35** zeigt die Lateralansicht und einen Teilschnitt einer Erdbebenschutz-Vorrichtung am oberen Ende des Mastes **71**. Die Vorrichtung stützt den Träger **72**, der zur Aufnahme von z.B. Beleuchtungskörpern dienen kann.

**FIG.35a** stellt einen Querschnitt zur Fig.35 dar und

**FIG.35b** zeigt die Draufsicht.

5 Der Mast trägt am oberen Ende vier Tragarme 73, von denen je zwei Arme einen Holm 74 tragen, an deren vier Enden jeweils ein hängendes Pendel 2 zweiachsig gelenkig befestigt ist.

10 Der Träger 72 wird über zwei Stützen 75 auf zwei Koppелеlementen 8 einachsig gelenkig gelagert. Die Koppелеlemente 8 hängen zweiachsig gelenkig gelagert an zwei Pendeln 2 und werden an einem dritten Punkt zweiachsig gelenkig gelagert von einem stehenden Pendel 7 gestützt, das mit seinem unteren Ende zweiachsig gelenkig auf dem oberen Ende des Mastes gelagert ist. Die Stützelemente, Pendel 2 und Pendel 7 sind räumlich geneigt so angeordnet, daß bei Neigung der Achse des oberen Mastendes von der Vertikalen weg der Träger 72 in etwa in waagerechter Position bleibt. Durch Schwingungsentkopplung des Trägers 72 mit seinen Traglasten von der von der Basis angeregten Schwingung des Mastes wirken die getragenen Massen nicht mit Reaktionskräften auf den Mast zurück und vermindern seine Belastung.

**FIG.36** stellt eine Schwingungsisolation zum Erdbebenschutz für eine Beleuchtungseinheit auf einem Pfahl 71 dar, bei dem ein virtuelles Pendel nach dem Prinzip gemäß schematischer Darstellung in FIG.21 Verwendung findet.

20 Am oberen Pfahlende sind drei Haltearme 76 in diesem Beispiel in Form eines Ringes, die jeweils am oberen Scheitelpunkt an einem zweiachsig gelenkigen Lager ein Stützelement 11, ein schräg angeordnetes Pendel tragen. Am unteren Gelenkpunkt 12 wird ein Koppелеlement 9 gestützt, das in vertikaler Draufsicht FIG.36a als dreistrahliger Stern erscheint. Das Koppелеlement 9 trägt an seiner Spitze in einer kardanischen Lagerung 77 einen Stützkörper 78, an dem drei oder mehr Speichen 79 angeordnet sind, die mit einem Ring 80 verbunden sind, der mehrere Lampen 81 trägt.

25 Die Pendel 9 können auch wie in FIG.36b als Seil 83 ausgeführt sein.

Ein elastisches Wellrohr stellt die elektrische Durchführung für die Verbindung zwischen Pfahl 71 und Lampen 81 her.

30 **FIG.37** zeigt ein zweites Beispiel der Anwendung eines virtuellen Pendels nach dem in FIG.21 dargestellten Prinzip für die Schwingungsentkoppelung eines Lampenträgers 82 vom schwingenden Pfahl 71, dessen Eigenschwingung der Basisschwingung des Bodens überlagert ist.

35 Der Pfahl 71 trägt am oberen Ende drei Haltearme 76 an denen jeweils Pendel 11 entweder als starres Stützelement mit zweiachsig gelenkigen Lagern an beiden Enden gestaltet oder als einfache Seilstruktur ausgebildet, ein Koppелеlement 9 in Form eines Dreibeins tragen, das an einer kardanischen Lagerung 77 einen hängenden Stützkörper 78 trägt, der fest mit drei Haltearmen 76 als Lampenträger verbunden ist.

**FIG.38** Bei dieser Ausführung einer schwingungsentkoppelten Lagerung einer Lampengruppe auf einem Pfahl wird ein virtuelles Pendel benutzt, das auf dem Prinzip nach FIG.23 beruht. Drei oder mehr Haltearme 76 am oberen Ende des Pfahls 71 tragen mit Seilen 83 oder alternativ mit Pendeln mit beidendig kardanischen Lagern ein Koppellement 8 mit sternförmig angeordneten Tragarmen 73 entsprechend der Anzahl der Pendel.

Im Zentrum 13 des Koppellements 8 ist das vertikale Stützelement 14 kardanisch gelagert. Das untere Ende des Stützelements 14 ist im Pfahl 71 radial abgestützt zweiachsig gelenkig und axial verschiebbar gelagert.

Im oberen Ende des Stützelements 14 ist in einer kardanischen Lagerung ein Lampenträger 82 mit mehreren Tragarmen 73 zur Halterung von Lampen 81 gelagert.

**FIG.39** zeigt eine Variante mit der Anwendung des gleichen Prinzips wie im Beispiel nach FIG.38. Hierbei sind die Haltearme 76 innerhalb der Anordnung der Pendel positioniert. Die Pendel aus Seilen 83 oder Pendel mit beidendigen zweiachsig schwenkbaren Gelenken tragen einen Ring 80, der über Speichen 79 im Zentrum des Rings eine Nabe 84 trägt, in der in einer kardanischen Lagerung 77 das vertikale Stützelement 14 gehalten ist. Im übrigen entspricht die Ausführung der des Beispiels in FIG.38.

#### 4.8 Erdbebensicherung von hängenden Objekten durch virtuelle Pendel

Hängende Objekte an Gebäudedecken, wie z.B. Lampen, Schau- und Anzeigetafeln geraten bei Gebäudeschwingungen ebenfalls ins Schwingen. Hängende Objekte stellen selbst Pendel dar und haben bei üblichen Dimensionen die Möglichkeit in Resonanzschwingung zu geraten. Die Schwingausschläge werden groß, die Objekte können an der Decke anschlagen, beschädigt oder zerstört werden und mitunter abreißen. Die Gefährdung durch hängende elektrische Objekte besteht in der Gefahr, durch elektrische Kurzschlüsse, Brände auszulösen. Schwere hängende Objekte, wie große Lüster in Sälen und Hallen stellen bei Abreißen auch eine Gefährdung für Personen dar.

Bei bestehenden Gebäuden, kann es daher auch sinnvoll sein, solchen hängenden Objekten das Gefährdungspotential zu nehmen, indem man sie an virtuellen Pendeln aufhängt.

**FIG.40** zeigt die Aufhängung einer Beleuchtungseinheit an einem virtuellen Pendel nach dem Prinzip gemäß FIG.21.

An drei an der Raumdecke an Eckpunkten eines gleichseitigen Dreiecks befestigten Seilen 83 (Kabeln), die schräg dem gemeinsamen Zentrum nach unten sich nähernd geneigt angeordnet sind, wird ein Rohrgestell in Form einer dreiseitigen umgedrehten Pyramide 85 getragen. In der Spitze der Pyramide ist zweiachsig gelenkig, in einfachster Form mittels zweier ineinander verketteten Ringe eine Stange 86 als Träger von Lampen aufgehängt.

**FIG.41** zeigt eine Lampe, an einem virtuellen Pendel großer Länge hängend, vergleichbar mit dem Beispiel nach FIG.40. Hierbei besteht das Koppellement 9 aus drei Haltearmen 76, die die Kanten einer dreiseitigen Pyramide bilden.

**FIG.42** Die Leuchten 87 sind in Reihe an jeweils zwei virtuellen Pendeln nach dem Schema gemäß FIG.11 aufgehängt. Das stabile Stützelement 2 ist ein an der Decke aufgehängtes Pendel in Form eines zweiachsig gelenkig befestigten Stabes, Seils oder Kette und stützt ein Ende des Koppellements 8. Eine Tragstruktur 5 aus vier Gliedern in Form von Stäben, Seilen oder Ketten, die an der Decke befestigt, wie die Kanten einer umgedreht hängenden Pyramide angeordnet sind, bilden den Stützpunkt 88 für den unteren zweiachsig gelenkigen Lagerpunkt des instabilen Stützelements 7, das am oberen Ende zweiachsig gelenkig mit dem anderen Ende des Koppellements 8 verbunden ist. Am Koppellement 8 hängt einachsig gelenkig gelagert die Laststütze 89, an der vertikal federnd die Leuchte 87 aufgehängt ist.

#### 4.9 Schwingungstilgung durch Massen an virtuellen Pendeln

Hochhäuser, schlanke Türme, hohe Masten und Kamine werden durch Erdbeben und starken Wind zu Querschwingungen angeregt, die kritische Auswirkungen haben können. Um die mit der Verformung einhergehenden Ausschlagspannungen zu mindern und Materialermüdung vorzubeugen, werden sehr wirkungsvoll Schwingungstilger benutzt, die Schwingweite zu verringern. Hierbei werden Zusatzmassen am Kopf des Bauwerks oder bei schlanken Kaminen und abgespannten Masten an Stellen, wo die größten Schwingamplituden auftreten, eigenschwingfähig angeordnet und mit dem Gebäude über federnde Stützglieder und Dämpfer verbunden oder durch aktive Systeme bewegt, um über die Antriebsreaktionskräfte der Zusatzmasse der Schwingungstilger der Eigenbewegung des Gebäudes entgegenzuwirken.

Für die Stützung dieser Zusatzmassen lassen sich virtuelle Pendel vorteilhaft einsetzen. Bei geringstem Raumbedarf lassen sich virtuelle Pendel in einfacher Weise für jede gewünschte Eigenfrequenz der gestützten Tilger-Masse durch freie Wahl der Auslegungsparameter-Relationen gestalten.

Bei aktiv angetriebenen Schwingungstilgern ist bei Verwendung virtueller Pendel die sehr geringe Reibung der Masse-Aufhängung und die beliebig gestaltbare Eigenschwing-Periode von Vorteil.

**FIG.43** stellt einen passiven Schwingungstilger in einem Turm dar. Drei virtuelle Pendel  $P_v$  nach dem Prinzip entsprechend FIG.11 stützen die Tilger-Masse 90. Federnde Dämpfer 91 stützen die Masse horizontal gegen die Gebäudemasse ab.

**FIG.44** Das dargestellte aktive Schwingungstilger-System besteht aus der Tilger-Masse 90, die von drei virtuellen Pendeln  $P_v$  nach dem Prinzip entsprechend FIG.11 gestützt wird. Die Referenz-Masse 92 ist auf drei virtuellen Pendeln gestützt nach dem Prinzip entsprechend FIG.21, die sehr reibungsarm und mit geringer Mittellage-Hysterese und sehr langer Eigenschwing-Periode ausgelegt sind.

Sensoren 93 für die Lageerfassung der weitgehend in beiden Horizontalachsen von der Bewegung der Gebäudestruktur abgekoppelten Referenz-Masse 92 in Bezug auf die Gebäudelage liefert über eine Regelung die Stellgröße für die Bewegung der Tilger-Masse 90 über Aktuatoren 94.

**FIG.45** zeigt das Schwingungstilger-System mit Stützung der Tilger-Masse 90 durch drei virtuelle Pendel  $P_v$  nach dem Prinzip entsprechend FIG.13 wie es für ein aktives oder auch passives System Verwendung finden kann. Die zugbelasteten Stützelemente sind in diesem Beispiel mit Seilen ausgeführt.

- 5 **FIG.46** zeigt die Stützung der Tilger-Masse 90 oder Referenz-Masse 92 bei einem aktiven System auf drei virtuelle Pendel  $P_v$  nach dem Prinzip entsprechend FIG.21. Die stabilen Stützelemente 11 sind in diesem Beispiel als Seilstruktur ausgeführt.

- 10 **FIG.47** Bei dem Schwingungstilger-System für Rohr-Masten ist die Tilger-Masse 90 in Form eines Rings außerhalb des Mastes angeordnet und durch drei virtuelle Pendel  $P_v$  nach dem Prinzip entsprechend FIG.11 gestützt. Das stabile Stützelement, Pendel 2 greift nicht direkt an dem Koppellement 8 an, sondern wird durch eine nicht als Pendel wirksame Verlängerung 95 über einen Zwischenhebel 96 in eine höhere Ebene verlagert und spart dadurch in radialer Erstreckung in Anspruch genommenen Raum ein, was den Luftwiderstand verringert. Durch die Verkleidung 97 wird die Funktion des  
15 Schwingungstilgers nicht durch Windkräfte überlagert.

- FIG.48** Bei dem passiven Schwingungstilger-System für einen Gitter-Mast ist die Tilger-Masse 90 zur Minderung des Luftwiderstands in Form einer flachen Ring-Scheibe um den Mast herum angeordnet und durch drei virtuelle Pendel  $P_v$  nach dem Prinzip entsprechend FIG.11 gestützt. Die Rückfederung erfolgt neben der Selbstzentrierung durch die virtuellen  
20 Pendel  $P_v$  durch Federn 98 an dem Fußgelenk des instabilen Stützelements 7. Die Dämpfung erfolgt durch eine Reibscheibe 99. Die stabilen Stützelemente 2 sind als Seil ausgebildet.

Damit die Funktion nicht durch Luftkräfte beeinträchtigt wird, ist die Tilger-Struktur weitgehend durch eine aerodynamisch widerstandsarme Verkleidung 97 abgedeckt.

#### 25 4.10 Verminderung der Gefahr der Bodenverflüssigung (Liquefaction)

Starke Verringerung der Gefahr der Bodenliquidierung

- Bei schwingendem Boden rufen die wechselnden Momente aus der Gebäudemasse schwellende Fundamentlasten hervor, die bei bestimmten Untergründen eine Bodenerweichung und Minderung der Tragfähigkeit der Böden zur Folge haben, so daß  
30 Gebäude in den Untergrund absinken können.

- Da durch virtuelle Pendel gestützte Gebäude von horizontalen Schwingungen des Bodens nahezu vollständig isoliert werden, wird die Gebäudemasse keinen horizontalen Beschleunigungen ausgesetzt, es entstehen keine Reaktionskräfte aus Kippmomenten der Gebäudemasse, so daß die Effekte, die zur Bodenerweichung führen, vermieden oder im  
35 Grenzbereich verringert werden.

- Die Reaktionskräfte der Gebäudemasse verursachen unter Vibrationen bei gewissen Untergründen Boden-Verflüssigung mit fatalen Auswirkungen. Die Böden werden hochviskoses Liquid und die Gebäude kippen oder versinken im Boden. Ist die Masse des Gebäudes geringer als die Masse des Erdreichs, das von dem Volumen-Anteil des im Boden eingebetteten Bauwerks eingenommen wird, so schwimmt das Gebäude bei Liquefaction auf  
40 und erhebt sich aus dem Boden. Durch Erdbebenschutz-Module auf der Basis virtueller

Pendel wird die Massen-Reaktionskraft des Gebäudes auf 3/1000 reduziert. Liquefaction wird in Grenzfällen verhindert.

Bei horizontalen Schwingungen des Bodens wird der statischen Last im Fundament ein mit der Schwingung synchron die Richtung wechselndes Kräftepaar überlagert zur Aufnahme des Gebäudekippmoments aus der Beschleunigung der Gebäudemasse.

Die wechselnde Zusatzlast an den Fundamentkanten aus der Beschleunigung der Gebäudemasse ist

$$L_a = m \cdot a \cdot \frac{h_m}{W} \quad (24)$$

$m$  ..... Masse des Gebäudes

$a$  ..... Beschleunigung im Schwerpunkt des Gebäudes

$h_m$  ..... Höhe des Schwerpunkts des Gebäudes über der Fundament-Kippkante

$W$  ..... größter Abstand der Fundament-Kippkanten in Richtung der Bodenschwingung

Die wechselnden Bodenpressungen erzeugen in feuchten Böden eine Pumpwirkung auf das Wasser im Boden. Hierdurch wird die Haftreibung zwischen den Bodenkörpern wie Sand und Kies durch pulsierende Flotation zwischen den Körpern verringert, der Boden wird zu einem viskosen Fluid, der Boden wird zu einem Brei verflüssigt.

Gebäude können im Boden versinken und bei Unsymmetrie der Vorgänge auch umkippen.

Bei der erfindungsgemäßen Stützung von Objekten tritt die voran dargestellte Reaktionswirkung der getragenen Masse nicht auf, weil sie keiner nennenswerten Beschleunigung ausgesetzt wird. Die statischen Fundamentlasten werden nicht mit Wechsellasten aus Kippmomenten überlagert. Die Gefahr der Bodenverflüssigung wird in hohem Maße verringert.

**FIG.49** Damit auch bei sehr weichen und nassen Böden die Gefahr für das durch virtuelle Pendel  $P_v$  erdbebengeschützte Gebäude weiter vermindert wird, ist das Fundament als Basis für Erdbebenschutz-Module so gestaltet, daß das Volumen des im Boden eingebetteten Gebäudeunterteils entsprechend der Massedichte des örtlichen Bodens in Leichtbaugestaltung rigide gestaltet und so groß bemessen ist, daß die Masse des verdrängten Bodens der Masse des Gesamtgebäudes entspricht.

Damit die mechanischen Krafteinwirkungen auf das Fundament durch Kompressionswellen im Boden gemindert werden, ist die Fundamentunterseite 100 gekrümmt zum Rand nach außen ansteigend gestaltet.

**FIG.50** Ist bei feucht weichen Böden unterhalb der Sedimentschicht in nicht zu großem Abstand festerer Boden oder Felsgrund erreichbar, so ist die Ausführung des Fundaments gemäß Darstellung entsprechend FIG.49 zusätzlich mit einer Pfahlgründung 103 ausgestattet.

#### 5 4.11 Gebäudeabdichtung zwischen Basis und getragem Objekt

**FIG.51** Zwischen Außenwand des Untergeschosses, das im Erdreich eingebettet ist und bei Erdbeben die horizontale Schwingbewegung des Bodens mitmacht und der von Erdbebenschutz-Modulen nach dem Prinzip virtueller Pendel gestützten Gebäudestruktur 51, die auf der Stelle in Ruhelage verbleibt, ist eine Bewegungsfuge 113 vorgesehen, die jedoch keine Durchlässigkeit für Wind, Staub, Nässe und Ungeziefer haben soll.

An einer Seite der Bewegungsfuge, vorzugsweise an der Oberseite sind Drahtbürstenstreifen 101 und Zwischenräume mit gestopfter Isolierwolle 104 verfüllt. An der gegenüberliegenden Seite ist ein Gleitrahmen 102 mit abgeschrägten Kanten justierbar montiert.

15 **FIG.52** Sind die Erdbebenschutz-Module zusätzlich zur Unterdrückung von Vertikalschwingungen mit einer Vertikalfederung und Dämpfung ausgerüstet, ist es notwendig, die Bewegungsfugendichtung ebenfalls mit Vertikalfederung auszurüsten.

Gegen die schwingungsisiolierte Gebäudestruktur 51 oder eine zusätzliche Gleitschutzlamelle 105 wird ein U-förmiger Dichtrahmen 106 durch Federelemente 107 z.B. in Form von Schrauben- oder Blattfedern gedrückt. Der Rahmen 106 wird durch das U-förmige Unterteil 108, das mit der Gebäudeuntergeschoß-Außenwand 22 fest verbunden ist, vertikal geführt und zum Unterteil mit durch Federkraft angestellte gleitende Dichtleisten 109 abgedichtet. Der Dichtrahmen 106 wird durch vertikal nach oben durch Federn gedrückte Dichtleisten 109 und eine Stopfpackung 110 gegenüber der schwingungsisiolierten Gebäudestruktur oder der Gleitschutzlamelle 105 abgedichtet.

#### 4.12 Geringere Brandgefahr durch Verbesserung der Interface-Situation

**FIG.53** Da die Gebäude-Masse beim Schwingen des Bodens horizontal im Wechsel der Frequenz beschleunigt wird, wirkt die Reaktionskraft der Masse auf den Boden über vertikale Flächen des im Erdreich eingebetteten Gebäude-Untergeschosses 22 eine Pressung aus. Abhängig von den entstehenden Flächenpressungen wird der Boden gestaucht und entlastet, es entstehen zwischen den im Erdreich liegenden Versorgungsleitungen 111 und den im Gebäude befestigten Leitungsanschlüssen Zerrungen, die zu Leitungsbrüchen führen können. Der Bruch von Gas- und Elektroleitungen löst einen Brand durch Kurzschluß aus. Diese häufige Brandursache kann dadurch vermindert werden, daß die Stauchungen des Erdreichs und damit verbundene Zerrungen an Leitungen verringert werden, weil die Flächenpressung zum Erdreich verringert wird und die Beschleunigungs-Reaktionskraft nicht mehr aus der Masse des Gesamtgebäudes herrührt, sondern nur aus einem wesentlich geringeren Anteil, nur der Masse des Gebäude-Fundaments. Die örtliche Bruchgefahr verringert sich entsprechend.

Innerhalb des Gebäudes stellen flexible Leitungsverbindungen in hängenden U-Schleifen 112 sicher, daß bei Relativbewegung zwischen schwingender Basis und schwingungs isoliert gestützter Gebäudestruktur 51 keine Leitungsschäden entstehen.

#### 4.13 Tolerierung von Bodenspaltbildung unter Gebäuden

5 Sogar im ungewöhnlichsten Fall, daß entlang einer Spalte direkt unter einem Gebäude beide Ränder sich in entgegengesetzter Richtung bewegen oder voneinander entfernen und eine offene Spalte hinterlassen, kann das System dies tolerieren, weil die Module unabhängig voneinander funktionieren und Veränderungen der Stützweite auf der Basis ausgleichen.

10 Das System stellt dennoch Stabilität der getragenen Struktur bereit.

**FIG.54** Der Teilungsabstand  $t$  der Gebädestützen an der getragenen Gebäudestruktur 51 ist durch feste Montage unveränderlich. Der Teilungsabstand der Erdbebenschutz-Module 56 auf dem Fundament 20 entspricht dem Teilungsabstand am Gebäudeoberteil.

15 Kommt es durch Erdbeben-Kompressionswellen zu einer Spaltbildung zwischen den Erdbebenschutz-Modulen 56, so vergrößert sich die Stützweite der Erdbebenschutz-Module 56 um die Spaltbreite  $Sp$ . Die Erdbebenschutz-Module zentrieren als virtuelle Pendel wirkend den Laststützpunkt im Zentrum seiner Schwingweite unterhalb seines virtuellen Aufhängungspunkts.

20 Werden die virtuellen Aufhängepunkte von zwei virtuellen Pendeln vergrößert, so nehmen die miteinander fest verbundenen Laststützpunkte eine ausgleichende Stellung ein, so daß die Abweichung vom ursprünglichen Mittellage-Punkt bei beiden virtuellen Pendeln gleich ist.

#### 4.14 Impact-Minderung bei Explosionen

25 Aufgrund des geringen Verschiebewiderstandes des getragenen Objekts gegenüber der Basis kann erfindungsgemäß das Gebäude oder Objekt bei Luftkräften, welche die Staudrücke stärkster Winde übersteigen, wie sie durch Explosionen in der Nähe eines Gebäudes hervorgerufen werden können, in jeder Richtung ausweichen und somit die Wirkung der Luftkraft-Momente verringern.

30 Die Windkraftabstützung stellt sich automatisch auf die Windkraft ein mit einer Regelstellgrößen-Änderungsgeschwindigkeit, die den Erfordernissen der Windkraft-änderungsrate entspricht.

35 Ein Luftdruckanstieg aufgrund einer Explosion erfolgt in einer extrem kurzen Zeit, innerhalb der kein nennenswerter Anstieg der Abstützkraft für die Windkraftkompensation durch die selbsttätige Regelung erfolgt. Somit kann das Gebäude bei plötzlicher Beaufschlagung mit einer Druckwelle bei geringer Gegenkraft zurückweichen, was den Impulsaustausch nicht unbeträchtlich verringert.



## 5 Kurzbeschreibung der Zeichnungen

**FIG.1** ist die Darstellung eines Hauses, erfindungsgemäß gestützt auf Erdbebenschutz-Modulen, die virtuelle Pendel großer Länge darstellen mit dem Bewegungsverhalten, als wäre das Haus an langen Pendeln mit der Länge  $l_v$  aufgehängt.

- 5 **FIG.2 - FIG.4** zeigen Vorrichtungen zum Erdbebenschutz entsprechend dem Stand der Technik gemäß Darstellungen aus den bezogenen Schriften.

**FIG.5** veranschaulicht die schematische Darstellung und die benutzten Bezugszeichen und Funktionsgrößen eines mathematischen Pendels, wie sie im Abschnitt „Deduktion zur Lösung der sich stellenden Aufgabe“ für die grundsätzlichen Betrachtungen benutzt werden.

- 10 **FIG.6** und **FIG.7** stellen die Überlagerung von anhebender und absenkender harmonischer Bewegung dar.

**FIG.8** dient zur Erläuterung der Erfindung und zeigt in schematischer Darstellung eine Gegenüberstellung von stabilen und labilen Pendeln als Stützglieder.

- 15 **FIG.9** ist eine vereinfachte schematische Darstellung eines Beispiels für eine Vorrichtung, die ein virtuelles Pendel großer Länge abbildet bei vergleichsweise geringer vertikaler realer Erstreckung und veranschaulicht das Wirkprinzip zum Erhalt der Aufgabenlösung, wonach ein Punkt dieses kinematischen Schemas als Stützvorrichtung für ein zu tragendes Objekt dienen kann mit einem räumlichen Bewegungsverhalten, als wäre dieser Punkt das schwingende Ende eines langen Pendels.

- 20 **FIG.10** ist eine vereinfachte Darstellung der vertikalen Draufsicht auf das Schema von **FIG.9**.

**FIG.11** zeigt die benutzten Bezeichnungen zum Schema eines Pendels.

**FIG.12** ist eine vereinfachte schematische Darstellung einer Variante des Schemas von **FIG.9**.

- 25 **FIG.13** stellt ein virtuelles Pendel in einer Variante des Schemas von **FIG.12** dar, bei dem der Hebel zur Anlenkung des hängenden stabilen Pendels und der Hebel zur Anlenkung des stehenden labilen Pendels in verschiedene Höhenebenen gelegt sind.

**FIG.14 - FIG.16** zeigen das virtuelle Pendel von **FIG.13** in verschiedenen Bewegungsphasen.

- 30 **FIG.17** zeigt das virtuelle Pendel von **FIG.13** in der Bewegungsrelation zur schwingenden Basis.

**FIG.18** ist eine vereinfachte schematische Darstellung eines zweiten Beispiels einer anders als im Beispiel in **FIG.9** gestalteten Lösung zur Realisierung eines virtuellen Pendels.

**FIG.19** stellt schematisch die vertikale Draufsicht zum Beispiel in **FIG.18** dar.

**FIG.20 und FIG.21** zeigen in vereinfachter schematischer Darstellung eine Ergänzung zum Beispiel in **FIG.18 und FIG.19** zur Erzielung einer großen virtuellen Pendellänge.

**FIG.22** ist eine schematische Darstellung von Varianten virtueller Pendel.

**FIG.23, 23a, 23b, 23c** zeigen das Schema eines virtuellen Pendels und Bewegungsphasen.

5 **FIG.24** zeigt die Relativbewegung der Basis zum virtuellen Pendel.

**FIG.25** zeigt in einer prinzipiell ausführbaren Form eine Zentrier- und Windkraft-Haltevorrichtung für ein durch virtuelle Pendel getragenes Objekt.

**FIG.26** ist die Darstellung einer Vorrichtung zur Zentrierung eines durch virtuelle Pendel getragenen Objekts mittels eines Federblocks aus elastomerem Werkstoff.

10 **FIG.27** ist eine Zentrier- und Windkraft-Abstützvorrichtung für ein durch virtuelle Pendel gestütztes Objekt mittels einer Kugel, die durch Federkraft in einen Trichter gedrückt wird.

**FIG.28** zeigt eine vereinfachte Darstellung eines Schemas für ein hydropneumatisch betätigtes System zur Zentrierung und Windkraftabstützung eines von virtuellen Pendeln getragenen Objekt.

15 **FIG.29** zeigt eine Vorrichtung zur Zentrierung und Windkraftabstützung eines von virtuellen Pendeln getragenen Objekts mittels einer Schwinge, die sich durch hydropneumatische Federkraft an der mit der Basis verbundenen Fundamentseitenwand abstützt.

**FIG.30** zeigt die gleiche Vorrichtung wie **FIG.29** mit zusätzlicher Integration einer Hydraulik-Pumpe, die ihre Antriebsenergie aus der Bewegung der Basis bei Erdbeben  
20 bezieht.

**FIG.31** zeigt ein System zur Gebäudezentrierung unter Windlast, wobei ein nicht dem Wind ausgesetzter Gebäudeteil als Lage-Referenz dient.

**FIG.32** gibt schematisch eine Vertikalfederung zur Beschleunigungsminderung wieder.

**FIG.33** stellt ein Erdbebenschutz-Modul dar mit Vertikalfederung und Windkrafthaltung.

25 **FIG.34** zeigt elastische Verformungen bei kritischen Schwingungen an Laternenpfählen.

**FIG.35** zeigt ein virtuelles Pendel auf einer Mastspitze.

**FIG.35a** ist ein Querschnitt zu **FIG.35**.

**FIG.35b** ist die Draufsicht zu **FIG.35**.

**FIG.36, 36a, 36b**, zeigen eine Lampengruppe auf einem Pfahl mit Schwingungsisolierung durch ein virtuelles Pendel und Details.  
30

**FIG.37 – FIG.39** zeigen Varianten von schwingungs isolierten Laternen auf Pfählen.

**FIG.40 und FIG.41** zeigen hängende Lampen mit Schwingungsisolierung durch virtuelle Pendel nach dem Schema von FIG.21.

**FIG.42** zeigt die Aufhängung einer Leuchtenreihe an virtuellen Pendeln nach dem Schema von FIG.9.

- 5 **FIG.43** zeigt einen Schwingungstilger mit Stützung auf virtuellen Pendeln nach dem Schema von FIG.9.

**FIG.44** zeigt einen Schwingungstilger wie FIG.43 mit einer Lage-Referenz auf virtuellen Pendeln nach dem Schema von FIG. 21.

- 10 **FIG.45** zeigt die Stützung einer Schwingungstilger-Masse auf virtuellen Pendeln nach dem Schema von FIG.13.

**FIG.46** zeigt eine an virtuellen Pendeln nach dem Schema von FIG.21 hängende Masse einer Schwingungstilger-Masse oder Lage-Referenz-Masse.

**FIG.47** zeigt einen mit virtuellen Pendeln gestützten Schwingungstilger an einem Rohrmast.

**FIG.48** zeigt einen mit virtuellen Pendeln gestützten Schwingungstilger an einem Gittermast.

- 15 **FIG.49** zeigt ein Erdbebenschutz-Fundament als Basis für virtuelle Pendel.

**FIG.50** zeigt ein Erdbebenschutz-Fundament mit Pfahlgründung als Basis für virtuelle Pendel.

**FIG.51** zeigt die Abdichtung der Bewegungsfuge für schwingungsisierte Gebäude.

- 20 **FIG.52** zeigt die Bewegungsfugen-Abdichtung bei horizontaler und vertikaler Schwingungsisolierung eines Gebäudes.

**FIG.53** zeigt die Interface-Situation für Versorgungsleitungen an einem schwingungsisierten Gebäude.

**FIG.54** zeigt die Auswirkung eines Erdbebenspaltes zwischen Erdbebenschutz-Modulen mit dem Prinzip virtueller Pendel.

- 25 **FIG.55** zeigt ein Erdbebenschutz-Modul mit Einbau in das Untergeschoß eines Gebäudes als Vorrichtung zum Tragen von Gebäuden und Objekten mit der Realisierung eines virtuellen Pendels nach dem Prinzip von FIG.21.

**FIG.56** zeigt die Einbausituation eines Erdbebenschutz-Moduls mit Vertikal-Federung im Untergeschoß eines Gebäudes.

- 30 **FIG.57** ist ein Erdbebenschutz-Modul, wie in FIG.55 gezeigt, mit Integration einer Zentrier- und Windkraft-Haltevorrichtung nach dem Schema von FIG.25.

**FIG.58** ist ein Erdbebenschutz-Modul wie in FIG.55, kombiniert mit einem Elastomer-Block als Zentrierfeder.

**FIG.59** zeigt ein Erdbebenschutz-Modul mit ebenerdigen Einbau als Vorrichtung zum Tragen von Gebäuden und Objekten mit der Realisierung eines virtuellen Pendels nach dem Prinzip gemäß FIG.12.

**FIG.60** zeigt den vertikalen Schnitt durch ein Gebäude, getragen von Erdbebenschutz-Modulen wie in FIG.59 mit Darstellung der Lage der Abstütz-Vorrichtungen zur Zentrierung des Gebäudes und zur Aufnahme von Windkräften.

**FIG.61** ist ein horizontaler Schnitt durch das Untergeschoß eines Gebäudes und das Rahmen-Fundament in der Ebene der Zentrier-Vorrichtung und zeigt die Anordnung der Abstützungen eines Beispiels nach FIG.30.

**FIG.62** zeigt eine Deplacierung der Basis mit Fundament relativ zum stillstehenden Untergeschoß des Gebäudes in einer Bewegungsrichtung parallel zu einer Gebäudewand.

**FIG.63** zeigt eine Deplacierung der Basis mit Fundament relativ zum stillstehenden Untergeschoß des Gebäudes in einer Bewegungsrichtung unter einem Winkel zu einer Gebäudewand.

**FIG.64, 64a, 64b** zeigt virtuelle Pendel zur Stützung eines Hochhauses.

**FIG.65** zeigt ein virtuelles Pendel zum Einbau in eine Beton-Basis nach dem Schema von FIG.21.

**FIG.66** zeigt die Stützung einer Fahrbahn auf Pylonen über virtuelle Pendel.

**Fig.67** zeigt die Stützung eines Pylons mit Stützung auf virtuellen Pendeln an der Basis.

**FIG.68** zeigt die Stützung eines Gittermastes auf virtuellen Pendeln nach dem Schema von FIG.21.

**FIG.69** zeigt die Stützung einer Pipeline auf virtuellen Pendeln.

**FIG.70** zeigt die Stützung einer Rohrbrücke auf virtuellen Pendeln.

## 6 Beschreibung von zweckmäßigen Ausführungen

**FIG.1** zeigt, daß erfindungsgemäß ein Baukörper oder zu schützendes Objekt auf Tragkonstruktionen, die hier Erdbebenschutz-Module **56** genannt werden, gelagert ist, die mit dem Boden über ein durchgehendes gemeinsames Fundament oder auch über jeweils einzelne Fundamentgründungen für das einzelne Erdbebenschutz-Modul fest mit dem Boden verbunden sind. Die Erdbebenschutz-Module tragen den Baukörper und ermöglichen ihm an den Stützpunkten auf den Erdbebenschutz-Modulen ein räumliches Bewegungsverhalten in einer Weise, die etwa einer solchen Bewegungsform gleicht, als wäre das Objekt an sehr langen Pendeln aufgehängt, wodurch das Objekt nur minimale Beschleunigungen erfährt. Bei seiner geringen Bauhöhe stellt ein solches Erdbebenschutz-Modul ein virtuelles Pendel  $P_v$  großer virtueller Länge  $l_v$  mit langer Periodendauer dar. Diese Tragkonstruktionen oder Erdbebenschutz-Module sind so auslegbar, daß sie für jede gewünschte, oder erforderliche Amplitude einer möglichen Bewegung ausgeführt werden können, so daß extremste horizontale Bodenbewegungen sich nicht auf das getragene Objekt übertragen. Durch entsprechende Auslegung und Dimensionierung kann erreicht werden, daß die Eigen-Schwingfrequenz des auf den Erdbebenschutz-Modulen gelagerten Gebäudes um ein Vielfaches geringer ist, als die Schwingfrequenzen des Bodens, wie sie üblicherweise bei Erdbeben auftreten.

**FIG.55** zeigt ein Erdbebenschutz-Modul **56** in einer Ausführung nach dem Schema gemäß **FIG.21** mit Einbau in das Untergeschoß eines Hauses. Drei Stützelemente **11** haben an ihren Enden jeweils ein sphärisches Gelenklager **15** oder alternativ Kardangelenke oder Kugelgelenke **17** und sind an ihrem oberen Ende an einer Tragstruktur **5** zweiachsig gelenkig aufgehängt und tragen am unteren Ende das Koppellement **9**. Am oberen Ende des Koppellements **9** ist die mit der getragenen Gebäudestruktur **51** verbundene Gebäudestütze **16** mit einem Kugelkopf **17** gelenkig gelagert. Ein Faltenbalg **18** aus Elastomer-Werkstoff oder Metall dichtet das Kugelkopflager hermetisch ab. Eine gleitende Dichtung **19** dichtet den Spalt zwischen getragenen Baukörper, der sich gegenüber der Basis bewegen kann, zum Gebäudeteil der Basis **6** ab.

**FIG.56** zeigt ein Erdbebenschutz-Modul **56** nach dem Schema gemäß **FIG.12** mit Einbau in das Untergeschoß eines Hauses. Die vertikale Schwingungsisolierung nach dem Schema entsprechend **FIG.32** ist in die Gebäudestütze **16** integriert. Zur Anpassung an die Relativbewegung zwischen Basis und schwingungsisoliertem Gebäudeoberteil ist die Gebäude-Spaltabdichtung **114** nach dem Schema entsprechend **FIG.52** ausgeführt.

**FIG.57** zeigt ein Erdbebenschutz-Modul **56** in der ähnlichen Ausführung wie **FIG.55**. Zusätzlich ist eine Zentrier- und Windkraftabstütz-Vorrichtung **57** integriert in der Bauweise gemäß **FIG.25**. Diese Lösung hat den Vorteil platzsparend zu sein. Beide Funktionen, das Objekt zu tragen und es genau zu zentrieren und der Windkraft eine Gegenkraft entgegenzustellen, werden in einer Einheit vereinigt.

**FIG.58** zeigt ein Erdbebenschutz-Modul **56** mit einer weiteren Kombination der Trag- und Zentrier-Funktion. Die Zentrierung übernimmt hier ein Elastomer-Federblock **48**.

**FIG.59** zeigt ein Erdbebenschutz-Modul in einer Ausführung nach dem Schema gemäß **FIG.12** in einer Schwerlastausführung für hohe Gebäude mit ebenerdiger Montage. Das hängende Pendel **2** hat an beiden Enden jeweils ein sphärisches Gelenklager oder ein Kardangelenk und ist an seinem oberen Ende aufgehängt an der Tragstruktur **5**. Am unteren Lager des Pendels **2** ist der Träger **8** als Koppelement gelagert. Das andere Ende des Koppelements **8** stützt sich über ein Kugelgelenk **17** oder alternativ möglich auch über ein Kardangelenk oder sphärisches Gelenklager auf dem stehenden labilen Pendel **7** ab. Das stehende Pendel **7** stützt sich über ein gleiches Gelenk **17** wie am oberen Ende ebenso am unteren Ende auf der Basis in diesem Fall dem Fundament **20** ab. An dem Träger **8** ist die Gebäudestütze **16** einachsig gelenkig gelagert abgestützt und trägt das Gebäude **1**. Das Erdgeschoß des Gebäudes **1** hängt zusammen mit dem Untergeschoß **22** oder mehreren Untergeschossen an dem Gebäude **1**. Der Zwischenraum **23** zwischen den Untergeschossen **22** und dem Fundament **20** an der Basis wird durch den Außenbereich des Erdgeschosses abgedeckt und der Bewegungsspalt zum Fundament mit einer Gleitdichtung **19** abgedichtet. Die Verbindungen zur Versorgung und Entsorgung **21** des Gebäudes mit Wasser und Energie und zur Kommunikation sind zwischen der Fundamentbasis **20** und den Untergeschossen **22** des Gebäudes in einer U-Schleife hängend flexibel ausgeführt, so daß Relativbewegungen zwischen Basis und Gebäude möglich sind, ohne daß die Verbindungen gefährdet werden können.

**FIG.60** zeigt einen vertikalen Teilschnitt eines Hochhauses mit der Abstützung durch Erdbebenschutz-Module **56** der Außenkante des Gebäudes entlang aufgereiht in der Bauweise gemäß **FIG.59**. In einer Ebene **54** eines Untergeschosses **22** sind am Umfang des Gebäudes Horizontalabstützungen **24** angebracht nach dem Prinzip entsprechend **FIG.29** oder **FIG.30** mit den entsprechenden hydraulischen Ausrüstungen gemäß **FIG.28**.

**FIG.61** zeigt einen Horizontalschnitt durch ein Gebäude-Untergeschoß **22** und ein rahmenförmig um das Untergeschoß ausgebildetes Fundament **20** als Tragbasis für die Erdbebenschutz-Module in einer Ebene **54** in **FIG.60**. An jeder Seite des Untergeschosses **20**, das relativ zur Basis und damit verbundenen Fundament **20** in allen Richtungen beweglich oder verschiebbar ist, befinden sich an jeder Wand je zwei Vorrichtungen zur Horizontal-Abstützung **24** gegen Windkräfte und zur genauen Mittelzentrierung des Gebäudes relativ zum Fundament. Die Abstütz-Vorrichtungen entsprechen dem Schema nach **FIG.30**. Baut sich am oberen Gebäudeteil eine Windkraft auf, so verbleibt das Gebäude in der gleichen Lage wie in **FIG.61** dargestellt. Die Abstützeinrichtungen reagieren auf geringste Einfederung und erhöhen die Abstützkraft in den Federelementen solange, bis Gleichgewicht mit der Windkraft vorhanden ist. Bei genauer Mittellage ohne äußere Kräfte durch Wind ist zwischen den Laufrollen und der Fundamentwand ein geringfügiges Spiel vorgesehen. Alle Feder-Zylinder sind voll ausgefahren bis zu ihrem hydraulisch gedämpften Anschlag.

**FIG.62** Erfolgt eine Verschiebung der Basis in Richtung der dargestellten Pfeile **58** durch ein Erdbeben, so federn die Horizontalabstützungen **24** an der Seite ein, wo sich die Fundamentwand **20** dem Gebäude nähert. Auf der gegenüberliegenden Seite des Gebäudes heben die Abstützungseinrichtungen **24** von der Wand ab.

**FIG.63** Bei Bewegung der Basis in einer nicht einer Gebäudekante parallelen oder dazu senkrechten Richtung 58, federn die Abstützelemente an zwei Seiten ein und an den gegenüberliegenden Seiten heben sie von der Wand ab.

5 **FIG.64** zeigt einen Ausschnitt einer Außenansicht eines Hochhauses mit Stützung zu ebener Erde im Sichtbereich auf Erdbebenschutz-Modulen 56 mit Anwendung des Prinzips virtueller Pendel. Die virtuellen Pendel nach dem Schema entsprechend FIG.12 sind paarweise gespiegelt angeordnet. Die hängenden stabilen Pendel 2 werden paarweise zum Toleranzausgleich über einen in seiner Mitte einachsrig gelenkig gelagerten Ausgleichsträger 115 auf einer Säule 116 gestützt.

10 Die Anordnung der Erdbebenschutz-Module läßt erkennen, daß diese Ausführung zur Nachrüstung bestehender Gebäude in Skelettbauweise geeignet ist. Die bestehenden Säulen werden in dem Bereich der Lücke G ersetzt durch Einfügen der Elemente des virtuellen Pendels.

15 **FIG.64a** und **FIG.64b** stellen einen vertikalen Querschnitt zur Ansicht FIG.64 dar und zeigen den Außenabschluß des Gebäudes zu ebener Erde mit der Bewegungstrennfuge und der Gebäude-Spaltabdichtung 114, wobei einmal die Erdbebenschutz-Module im Außenbereich des Gebäudes und einmal im Inneren des Gebäudeabschlusses sich befinden.

20 **FIG.65** zeigt ein virtuelles Pendel als Erdbebenschutz-Modul nach dem Prinzip entsprechend FIG.21. In einem in eine Basis 6 einbetonierten Gehäuse 117 wird das vormontierte Modul als Einheit eingesetzt und über Flanschbefestigungen verbunden. Die Laststütze 89 wird mit dem getragenen Objekt durch Flanschverbindung verbunden. Die stabilen Stützelemente, Pendel 11 sind als Seil ausgeführt. Das Koppellement 14 wird zur Abstützung von Windkräften über die Feder 118 zentriert und zur Aufnahme von vertikaler  
25 Negativbeschleunigung durch die Feder 119 niedergehalten. Die Laststütze 89 ist im Koppellement 14 mit einem Kugelkopf 17 zweiachsrig gelenkig gestützt und trägt über eine teleskopische Führung 120 und federnde Abstützung über mechanische Federung 126 oder alternativ pneumatische Federn die Objekt-Last.

30 **FIG.66** zeigt eine Anordnung, einen auf Pylonen gestützten hochgelegten Fahrdamm 122 gegenüber der Pylon-Plattform 121 von Querschwingungen zu isolieren; auf diese Weise wird der Pylon in seiner Knick-Biegebelastung des Schaftes entlastet, weil er nicht mehr aus Masse-Reaktionskräften aus Querbeschleunigungen des Fahrdamms, sondern im wesentlichen nur durch seine eigene Masse und einem geringeren Anteil der Erdbebenschutz-Modulmasse belastet wird. Die Ausführung der virtuellen Pendel entspricht  
35 dem Prinzip entsprechend FIG.13. Sofern dieser Fahrdamm-Stützpunkt ein Festlager ist, wird das Koppellement mit horizontal wirkenden Federelementen 126 in seiner Mittelstellung gehalten. Erst, wenn die vorgegebene Federkraft überwunden wird, wird freie Relativbewegung zwischen Fahrdamm 122 und Pylonplattform 121 möglich.

40 **FIG.67** stellt die Schwingungsisolation eines Pylons 125 für hochgestellte Fahrdämme an der Basis dar. Das virtuelle Pendel basiert auf dem Prinzip entsprechend FIG.9. In der dargestellten Form stellt diese Fahrdamm-Stütze gleichzeitig ein Brückenloslager dar. Das stabile, hängende Pendel, Stützelement 2 wird aus zwei Zugstangen 123 und zwei Querträgern 124 gebildet.

**FIG.68** zeigt einen Gittermast, der auf Erdbebenschutz-Modulen gestützt ist, die nach dem Prinzip entsprechend **FIG.21** gestaltet sind und mit Windkraftabstützung ausgerüstet sind.

5 **FIG.69** zeigt die Stützung eines Pipeline-Rohrs durch ein stabiles und ein labiles Pendel **2** und **7** entsprechend dem Schema, entsprechend **FIG.9**. Das Koppellement **8** ist selbst als Rohrlager ausgebildet. Das Zentrum des Rohrquerschnitts beschreibt bei horizontaler Verschiebung eine Bahn wie das untere Ende eines langen Pendels. Die Aufhängung des Rohrs erfolgt an einem virtuellen Pendel. Das stehende Pendel **7** wird durch eine gegen einen Anschlag vorgespannte Feder **47** in der Vertikalstellung gehalten. Erst bei  
10 einem vorbestimmten Kippmoment am Pendel **7** wird ein Zusammendrücken der Feder **47** erreicht und eine Bewegung des Stützsystems möglich. Das Kippmoment wird derart vorbestimmt, daß nur Massen-Reaktionskräfte aus Querschleunigungen entsprechend Erdbebengrößen die Bewegung herbeiführen.

15 **FIG.70** stellt die Stützung einer Rohrbrücke, wie sie in Chemieanlagen und Raffinerien gebräuchlich sind, auf virtuellen Pendeln dar. Die Laststütze **89** wird vom Koppellement **8** gestützt, das vom stabilen Stützelement, dem hängenden Pendel **2** und dem labilen Stützelement, dem stehenden Pendel **7** gestützt wird.



## Patentansprüche

1. **Verfahren zum Schutz von Gebäuden und Objekten vor dynamischen Kräften aus Beschleunigungen einer Basis (6)** z.B. bei Erdbeben, **dadurch gekennzeichnet**, daß in einem das Objekt (1) tragenden System die Wirkung von stabilen, die Objektmasse anhebenden und von labilen, die Objektmasse absenkenden Stützelementen (2, 7, 11, 14) in der Weise durch Koppelung überlagert wird, daß bei wechselnder horizontaler Bewegung der Basis (6) durch Erdbeben unter dem Einfluß einer Deplacierung der mit der Basis (6) verbundenen Stützpunkte (10) der Stützelemente (2, 7, 11, 14) gegenüber der Lage der trägen Masse des Objekts (1) eine nur geringe Anhebung der Objektmasse (1) auf dem Stützpunkt (P) erfolgt, wodurch eine nur geringe in die Richtung der Ruhelage stabilisierende Rückstellkraft ( $F_R$ ), erzeugt wird, woraus eine nur geringe Objektbeschleunigung mit langer Periodendauer der Eigenschwingung resultiert. (FIG.9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 23)

2. **Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet**, daß zur schwingungsentkoppelten Lagerung eines Objekts (1) an mindestens drei Stützpunkten (10) gegenüber einer schwingenden Basis (6) zum Schutz des Objekts (1) gegen Schwingungen der Basis (6), wobei die Abstützung des Objekts (1) auf einem Koppelement (8, 9, 14) erfolgt, das seinerseits über nach allen Richtungen pendelnd gelagerte Stützelemente (2, 7, 11, 14), die es miteinander koppelt, an der schwingenden Basis (6) abgestützt ist, und daß die Dimensionierung und Anordnung der Stützelemente (2, 7, 11, 14) in ihrer Ausgangslage so getroffen ist, daß das Koppelement (8, 9, 14) mit den an ihm angelenkten Stützelementen (2, 7, 11, 14) ein virtuelles Pendel darstellt, das für einen Lagerpunkt (P) des Objekts (1) auf dem Koppelement (8, 9, 14) eine vergleichbare Bewegungsform ergibt, wie sie das freie Ende eines sehr langen Pendels beschreibt. (FIG.9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 23, 24)

3. **Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet**, daß das Koppelement (8, 9) an einer Anlenkseite der Stützelemente (2, 7, 11, 14) eine Anhebung und an einer gegenüberliegenden Seite eine Absenkung erfährt, und daß der Lagerpunkt (P) zur Abstützung des Objekts (1) auf dem Koppelement (8, 9, 14) bei einer zugrundegelegten Horizontalamplitude der schwingenden Basis (6) eine nur geringe Anhebung erfährt und eine derartige Bewegung ausführt, daß er eine flach gekrümmte, nach oben offene konkave Ortsfläche beschreibt. (FIG.9, 12, 13, 16, 17)

4. **Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet**, daß zwei Stützelemente (2, 7, 11, 14) durch ein Koppelement (8), (8b) jeweils zweiachsig gelenkig verbunden sind, wobei ein Stützelement (2, 12) als ein am oberen Ende zweiachsig gelenkig pendelnd an einem mit der Basis (6) verbundenen Stützpunkt (10) aufgehängtes stabiles Pendel und das andere Stützelement (7, 14) als ein am unteren Ende auf der Basis (6) zweiachsig gelenkig gelagertes stehendes labiles Pendel ausgebildet ist, und daß das Koppelement (8) an dem Objekt in einer waagerechten Achse gelagert ist, so daß es relativ zu dem Objekt (1) keine Drehung um die Hochachse ausführen kann. (FIG.9, 12, 13, 16, 17)

5. **Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Koppellement (8) in ein weiteres Koppellement (8b) gegliedert und über das Koppellement (8a) beidseitig einachsig gelenkig damit verbunden ist, und daß das Stützelement (8b), welches einachsig gelenkig an der Laststütze (W<sub>i</sub>) gelagert ist, sich auf dem labilen Pendel, Stützelement (7) zweiachsig gelenkig stützt. (FIG.13 bis 17)**

6. **Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß drei Stützelemente (11) an einem Koppellement (9, 14) an drei Punkten am Umfang zweiachsig gelenkig angelenkt, in der Ruhelage von dem Zentrum des Koppellements (9) weg nach oben schräg nach außen geneigt angeordnet und zweiachsig gelenkig an der Basis (6) aufgehängt sind. (FIG.21)**

7. **Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Lagerpunkt (P) zur Abstützung des Objekts (1) oberhalb einer durch die drei Lagerpunkte (12) der Stützelemente (11, 14) an dem Koppellement (9) gebildeten Ebene angeordnet ist. (FIG.19, 20)**

8. **Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Koppellement (8), das mit mindestens zwei Stützelementen (2) zweiachsig gelenkig verbunden ist, die jedes an ihrem oberen Ende zweiachsig gelenkig pendelnd an einem mit der Basis (6) verbundenen Stützpunkt (10) in paralleler Anordnung aufgehängt sind, in seiner Mitte ein Stützelement (14) trägt, das im Koppellement (8) einachsig gelenkig gelagert ist, wobei die Schwenkbewegung des Stützelements (14) in die Richtung der Stützpunkte des Koppellements (8) an den Stützelementen (2) zeigt, und das an seinem unteren Ende unterhalb seiner Lagerung auf dem Koppellement (8) zweiachsig gelenkig und axial verschiebbar gelagert ist, und das oberhalb seiner Lagerung auf dem Koppellement (8) an einem zweiachsig gelenkigen Lagerpunkt (P) das Objekt trägt. (FIG.22, 23, 24)**

9. **Vorrichtung nach Anspruch 2 und 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Vorrichtung abweichend von der Ausführung nach Anspruch 8 das Koppellement (8) an mehreren symmetrisch angeordneten Stützelementen (2) in paralleler Lage gestützt ist, und daß das Stützelement (14) auf dem Koppellement (8) zweiachsig gelenkig gelagert ist. (FIG.22, 23, 24)**

10. **Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zur Aufnahme von Windkräften unter dem getragenen Objekt (1) zwischen der Basis (6) und dem Objekt (1) ein Querkräfte aufnehmender Stab angeordnet ist, bei dem ein Ende des Stabes mit dem Ende einer an der Basis (6) oder an dem getragenen Objekt (1) nicht gelenkig befestigten vorgespannten Zugfeder (41) nicht gelenkig fest verbunden ist und dessen anderes Ende sich mit einem Zapfen (42) in einem an dem gegenüber sich befindlichen Objekt (1) beziehungsweise an der Basis (6) befestigten in einem zweiachsig schwenkbaren Lager (43) axial verschiebbar abstützt, wodurch die Lage von Objekt (1) und Basis (6) relativ zueinander fixiert wird und eine relative Verschiebbarkeit zwischen Basis (6) und Objekt (1) erst entsteht, wenn eine an dem Zapfen (42) wirkende Querkraft eine durch die Vorspannung der Zugfeder (41) vorbestimmte Größe übersteigt. (FIG. 25)**

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß unter dem getragenen Objekt (1) zwischen der Basis (6) und Objekt (1) ein Querkräfte aufnehmender Stab angeordnet ist, bei dem ein Ende des Stabes mit einem an der Basis (6) oder an dem getragenen Objekt (1) fest verbundenen Federblock (48) aus elastomerem Werkstoff fest verbunden ist und dessen anderes Ende sich mit einem Zapfen (42) in einem an dem gegenüber sich befindlichen Objekt (1) beziehungsweise an der Basis (6) befestigten in einem zweiachsig schwenkbaren Lager axial verschiebbar abstützt, wodurch die Lage von Objekt (1) und Basis (6) relativ zueinander elastisch fixiert wird. (FIG. 26)

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zur Aufnahme von Windkräften unter dem getragenen Objekt (1) eine oder mehrere Haltevorrichtungen (50) befestigt sind, womit jeweils eine in allen Richtungen drehbar gelagerte in einer vertikalen Achse geführte Zentrierkugel (44) mit einer vorbestimmten Kraft einer mechanischen oder hydropneumatischen Feder (47) nach unten in das Zentrum eines mit der Basis (6) fest verbundenen Zentriertrichters (45) gedrückt wird, der einen von einem Anfangswert in seinem Zentrum nach außen bis auf 180° zunehmenden Öffnungswinkel aufweist, wodurch eine formschlüssige Verbindung zwischen Objekt (1) und Basis (6) zustande kommt, die in der Lage ist, bis zu einem von der Federkraft und dem Öffnungswinkel im Zentrum des Trichters abhängigen Grenzwert horizontale Kräfte zu übertragen, bei dessen Überschreitung die Zentrierkugel (44) vertikal gegen die Federkraft durch die Schräge des Trichters angehoben wird und in den Bereich des flacher werdenden Trichters rollt, wobei die horizontal übertragbare Kraft kleiner wird und außerhalb des Trichters Null wird, so daß während Relativbewegungen zwischen Objekt (1) und Basis (6) bei Schwingungen der Basis (6) durch Erdbeben nur geringe oder abhängig von der Schwingweite der Basis (6) nahezu keine horizontalen Kräfte von der Basis auf das Objekt übertragen werden. (FIG. 17)

13. Vorrichtung nach Anspruch 12 zur Zentrierung eines durch die Eigenschaft seiner Lagerung leicht horizontal verschiebbaren Objekts oder Gebäudes und Bereitstellung einer Haltekraft, dadurch gekennzeichnet, daß eine vertikal geführte und in einem Rollkugelbett (49) gelagerte Zentrierkugel (44) mit einer mechanischen oder hydropneumatischen oder viskoelastischen Federkraft in einen Zentriertrichter (45) gedrückt wird, so daß eine an der Gebäudestruktur (51) horizontal wirkende Windkraft keine Reaktionskraft im Berührungspunkt der Zentrierkugel (44) im Zentriertrichter (45) hervorrufen kann, deren Vertikalkomponente ( $F_v$ ) die Zentrierkugel (44) in der vertikalen Führung gegen die Federkraft zurückdrücken kann. (FIG. 27)

14. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß ein Zentriertrichter (45) außerhalb des Kreises, den die Berührungslinie von Zentrierkugel (44) im Kontakt in der tiefsten Lage mit dem Zentriertrichter (45) bildet, einen bis auf 180° größer werdenden Öffnungswinkel ( $\gamma$ ) aufweist, so daß die horizontale Komponente ( $F_H$ ) aus der Normalkraft im Berührungspunkt von Zentrierkugel (44) und Zentriertrichter (45) vom Zentrum des Zentriertrichters (45) radial nach außen abnimmt, wenn eine horizontale Verschiebekraft, die größer als die maximale horizontale Windkraft ist, die Zentrierkugel (44) in ihre vertikale Führung einfedern läßt und der Berührungspunkt zwischen Zentrierkugel (44) und Zentriertrichter (45) radial nach außen im Zentriertrichter (45) wandert. (FIG. 27)

15. **Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Zentrierkugel (44) in einer vertikalen Führung ungebremst gegen eine vertikal wirkende Federkraft einfedern kann, wenn aus einer waagerechten Verschiebung des Zentriertrichters (45) hervorgerufene Vertikalkraft ( $F_v$ ) die Federkraft übersteigt, und daß ein**  
5 **Zurückfedern der vertikalen Führung mit der Zentrierkugel (44) durch hydraulische Drosselung auf eine geringe Geschwindigkeit gebremst wird, so daß die Zeit für den vollen Rückfederhub ein Vielfaches einer maximalen Erdbeben-Schwingungsperiode beträgt. (FIG.27)**

16. **Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zur Aufnahme von Windkräften zwischen senkrechten Seitenwänden der Basis (6) und**  
10 **auf gleicher Höhe liegenden Punkten des getragenen Objekts (1) rings um das in eine Mulde in der Basis (6) hineinragende Objekt (1) herum verteilt mindestens drei Paare, je ein Paar für die Bewegungs-Achsen, eines für vertikal und zwei für horizontal, jeweils zum Objekt (1) paarweise spiegelbildlich angeordnete mit mechanischer oder hydropneumatischer**  
15 **Feder (47) mit flacher Federkennung in Richtung auf die Seitenwand des Fundaments bis zu einem vorbestimmten Anschlag an geeigneten Führungen ausfahrbare Gleitschuhe oder Rollen (25) oder Mehrrollen-Laufwerke mit horizontaler Laufrichtung rings um das Objekt (1) angeordnet sind. (FIG.28, 29)**

17. **Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung**  
20 **zur Sicherstellung ringsum gleichmäßig horizontaler Abstände zur Seitenwand (20) der Basis bei geringster Einfederung durch Verschieben des Objekts relativ zur Basis durch Windkraft selbsttätig, durch hydraulische Tastventile geregelt, die Federkraft erhöht, bis volle Ausfederung in Sollstellung zentriert erreicht ist, und bei Verlagerung der Basis während Einfederns bei Erdbebenschwingungen aufgrund der flachen Federkennung die Abstützkraft**  
25 **gegen vorhandene Windkraft nur gering erhöht wird, so daß nur eine geringe Differenzkraft als Beschleunigungskraft mit Wirkung auf die Objektmasse wirksam wird. (FIG.28, 29)**

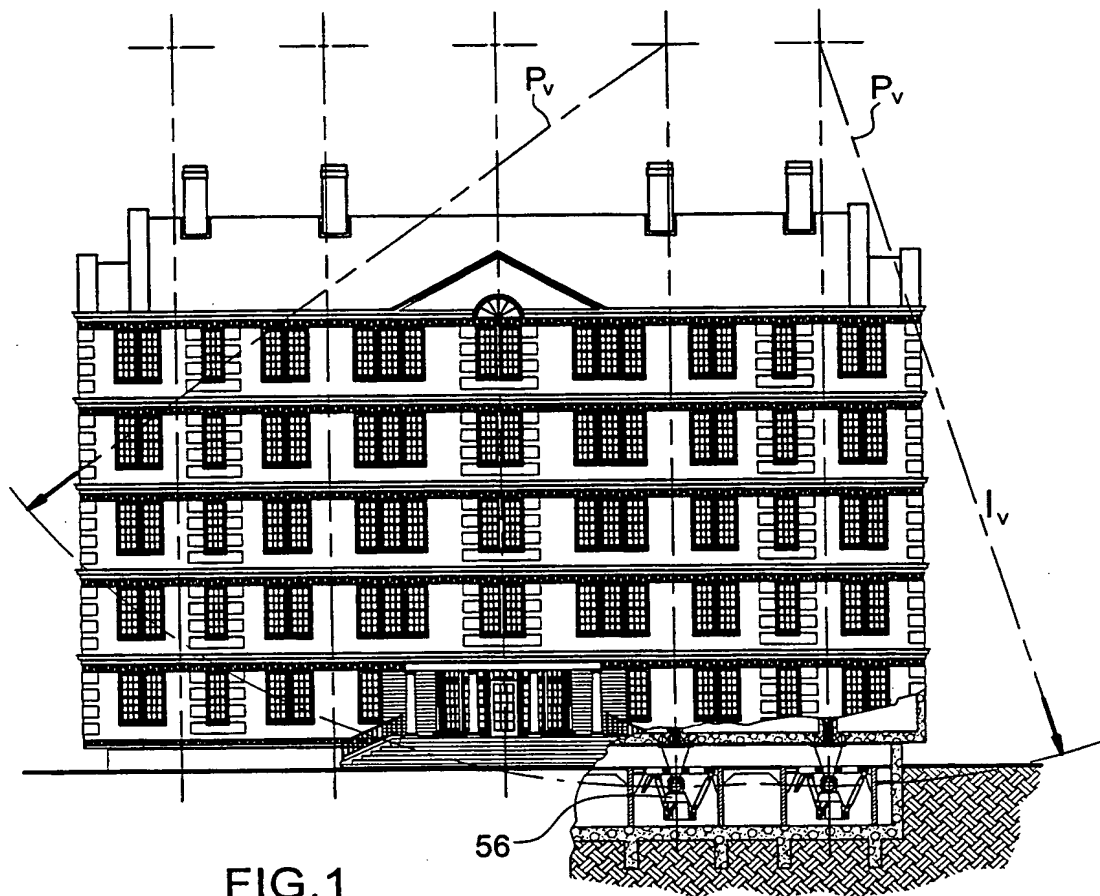
18. **Vorrichtung nach Anspruch 16 und 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Relativbewegung zwischen dem mit der Basis schwingenden Fundament und der durch**  
virtuelle Pendel schwingungs isolierten Gebäudestruktur dazu benutzt wird, eine oder  
30 **mehrere Pumpen (37) für die Servoenergiegewinnung anzutreiben, die für sich einzeln oder in Kombination mit Zentrier- und Windkraft-Abstützelementen, die mit der Relativbewegung in Verbindung stehen, angeordnet sein können. (FIG.28, 30)**

19. **Vorrichtung nach Anspruch 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß ein separat vom Hauptgebäude durch virtuelle Pendel schwingungs isoliert gestützter Gebäudeteil**  
35 **außerhalb von Windbeaufschlagung als Lagereferenz für eine Lageregelung des Hauptgebäudes unter Windbelastung dient. (FIG.31)**

20. **Vorrichtung nach den Ansprüchen 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Laststütze zwischen dem Lagerpunkt (P) des virtuellen Pendels und dem gestützten Objekt als vertikales Federbein mit einer Federung mit sehr flacher Kennung und darauf**  
40 **abgestimmter Dämpfung gestaltet ist, wobei die Federelemente mechanischer, hydraulisch-pneumatischer, oder fluidelastischer Art sein können. (FIG.32)**

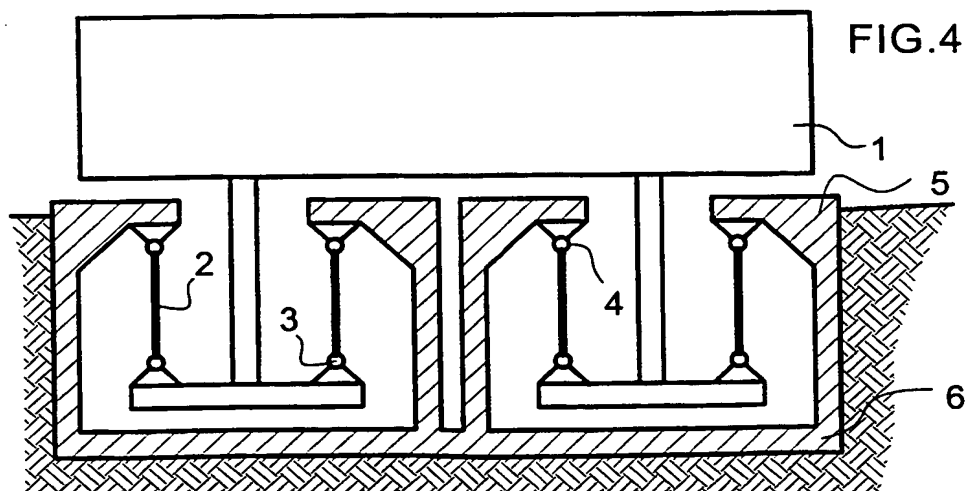
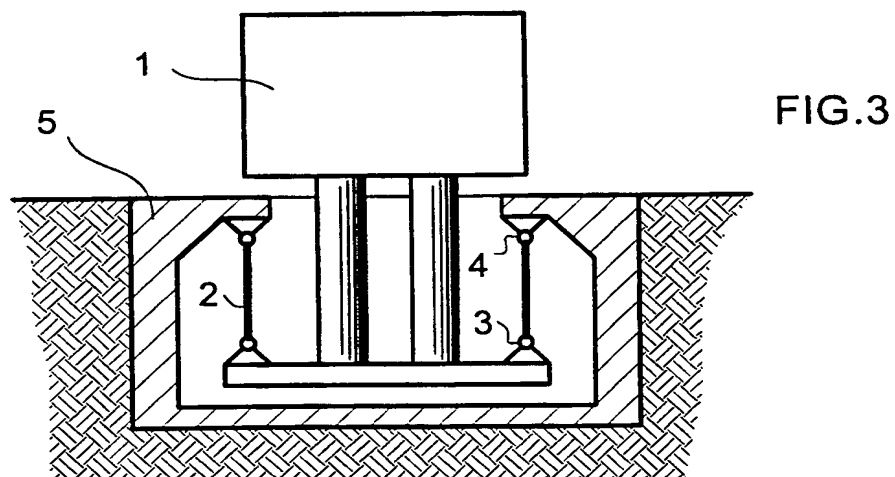
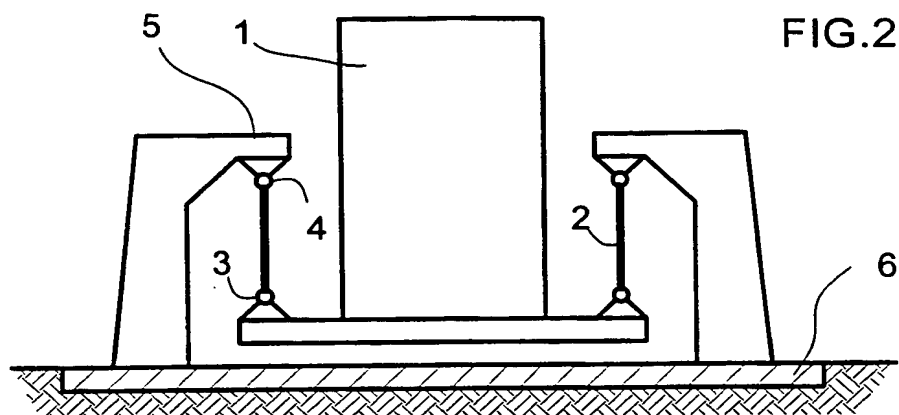
21. **Vorrichtung nach Anspruch 6, 10, und 20, dadurch gekennzeichnet, daß** Vorrichtungen für die Windkraftabstützung und Vertikalfederung mit dem virtuellen Pendel in einer Einheit zusammengefaßt sind. (FIG.33)
- 5 22. **Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das** Koppelement (8) von virtuellen Pendeln auf Pfählen von zwei hängenden Pendeln, Stützelementen (2) und einem stehenden Pendel, Stützelement (7) gehalten wird, und daß die Stützelemente (2) und (7) räumlich schräg angeordnet sind, um die Schrägstellung des Mastendes beim Schwingausschlag auszugleichen, damit der Lagerpunkt nicht im gleichen Maße die Schrägstellung erfährt. (FIG.35, 35a, 35b)
- 10 23. **Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das** Koppelement (9) seinen Laststützpunkt (P) an der Unterseite hat und hängende Objekte trägt und daß die Stützelemente (2, 11) aus Seilen bestehen. (FIG.37, 40, 42)
24. **Vorrichtung nach Anspruch 7 und 8, dadurch gekennzeichnet, daß die** Stützelemente (2) aus Seilen bestehen. (FIG.38, 39)
- 15 25. **Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das hängende** Pendel, Stützelement (2) an einer Raumdecke hängt, die mit der Basis über das Gebäude verbunden ist, und daß das instabile Pendel, Stützelement (7) an seinem Fußpunkt als Basis von dem Knotenpunkt, der von vier oder drei an einer Gebäudedecke hängenden schräg aufeinander zulaufenden Stäben, Seilen oder Ketten gebildet wird, gestützt wird. (FIG.42)
- 20 26. **Vorrichtung nach Anspruch 4, 5, 6 und 23, dadurch gekennzeichnet, daß** mindestens drei virtuelle Pendel eine Masse als Schwingungstilger tragen. (FIG.44, 45, 46, 47, 48)
- 25 27. **Vorrichtung nach Anspruch 4, 5, 6, 8, 9 und 23, dadurch gekennzeichnet,** daß die stabilen hängenden Pendel durch Seile oder Ketten dargestellt werden. (FIG.36b, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 45, 46, 47, 48)
28. **Vorrichtung als Basis für Erdbebenschutz-Module nach Anspruch 2 bis 9,** dadurch gekennzeichnet, daß das Fundament für den Aufbau der virtuellen Pendel an seiner Unterseite nach den Außenkanten ansteigend gewölbt ausgeführt ist. (FIG.49, 56)
- 30 29. **Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das** Koppelement (8) unmittelbar Lagerung für ein Objekt darstellt. (FIG.69)

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**





**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

3/70

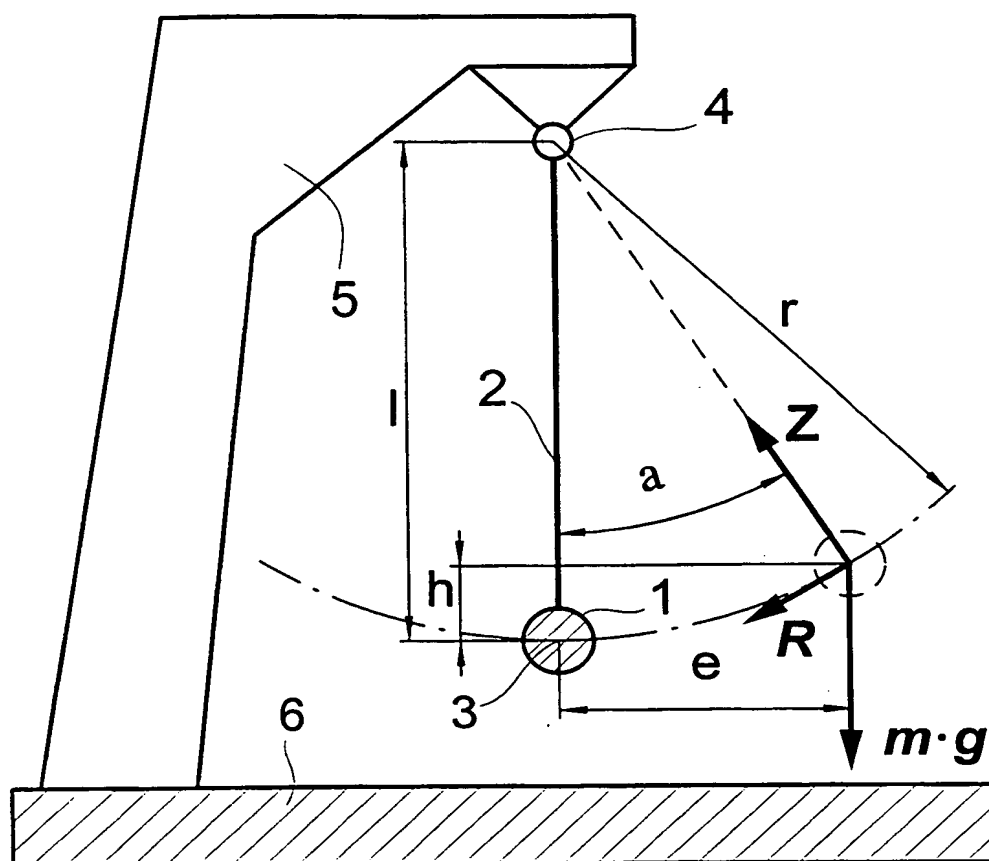


FIG. 5

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

4/70

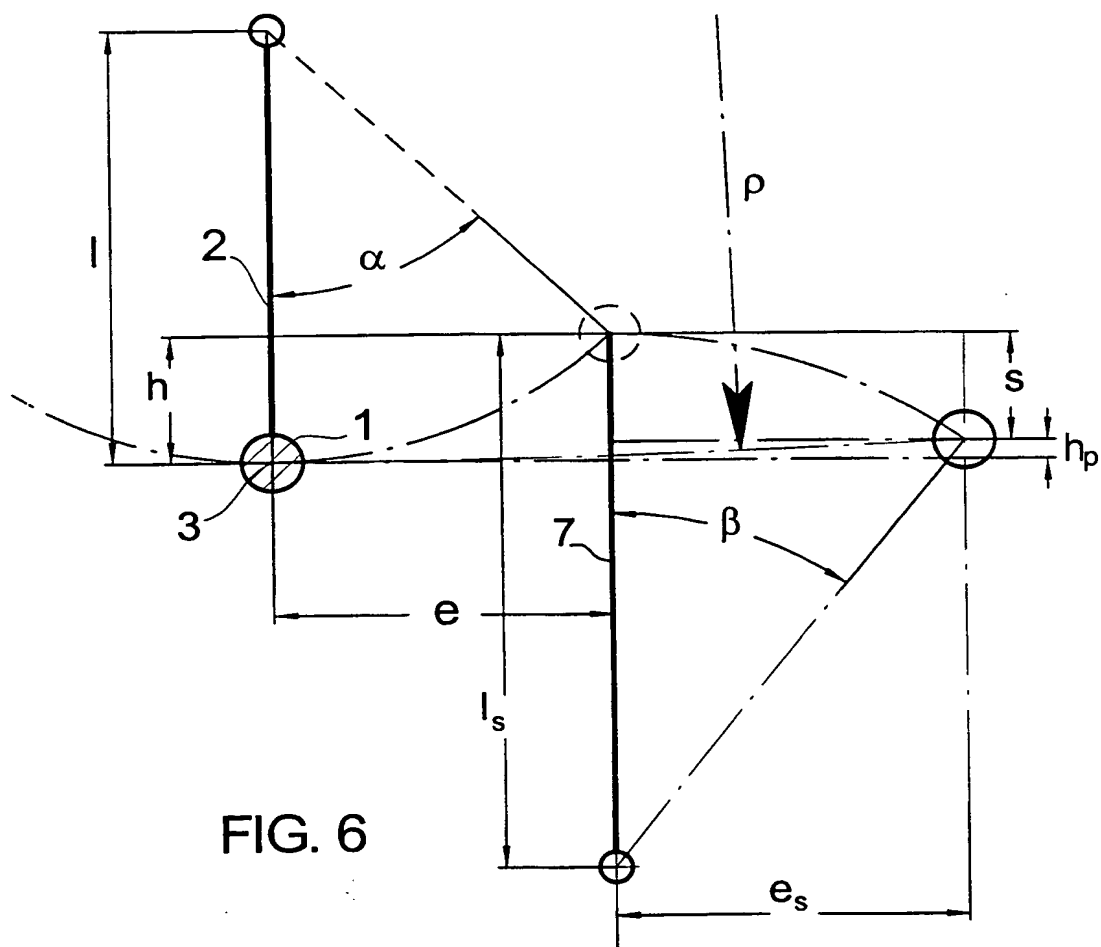


FIG. 6

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

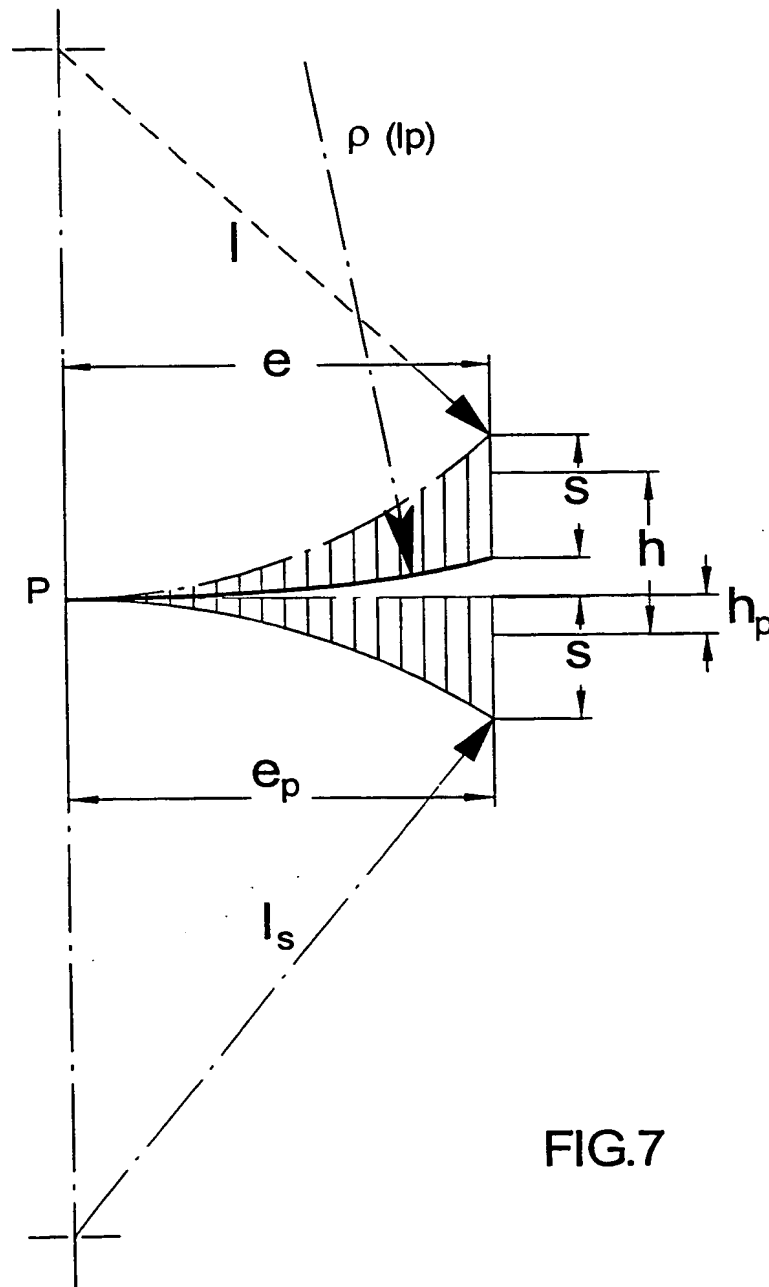


FIG.7

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



6/70

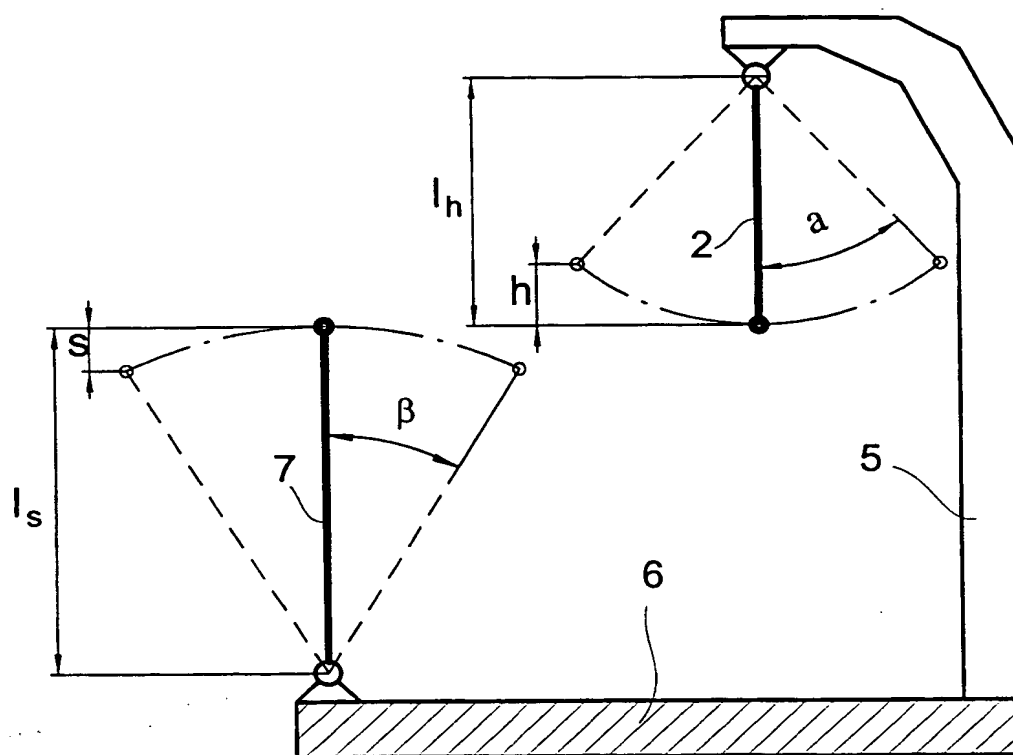
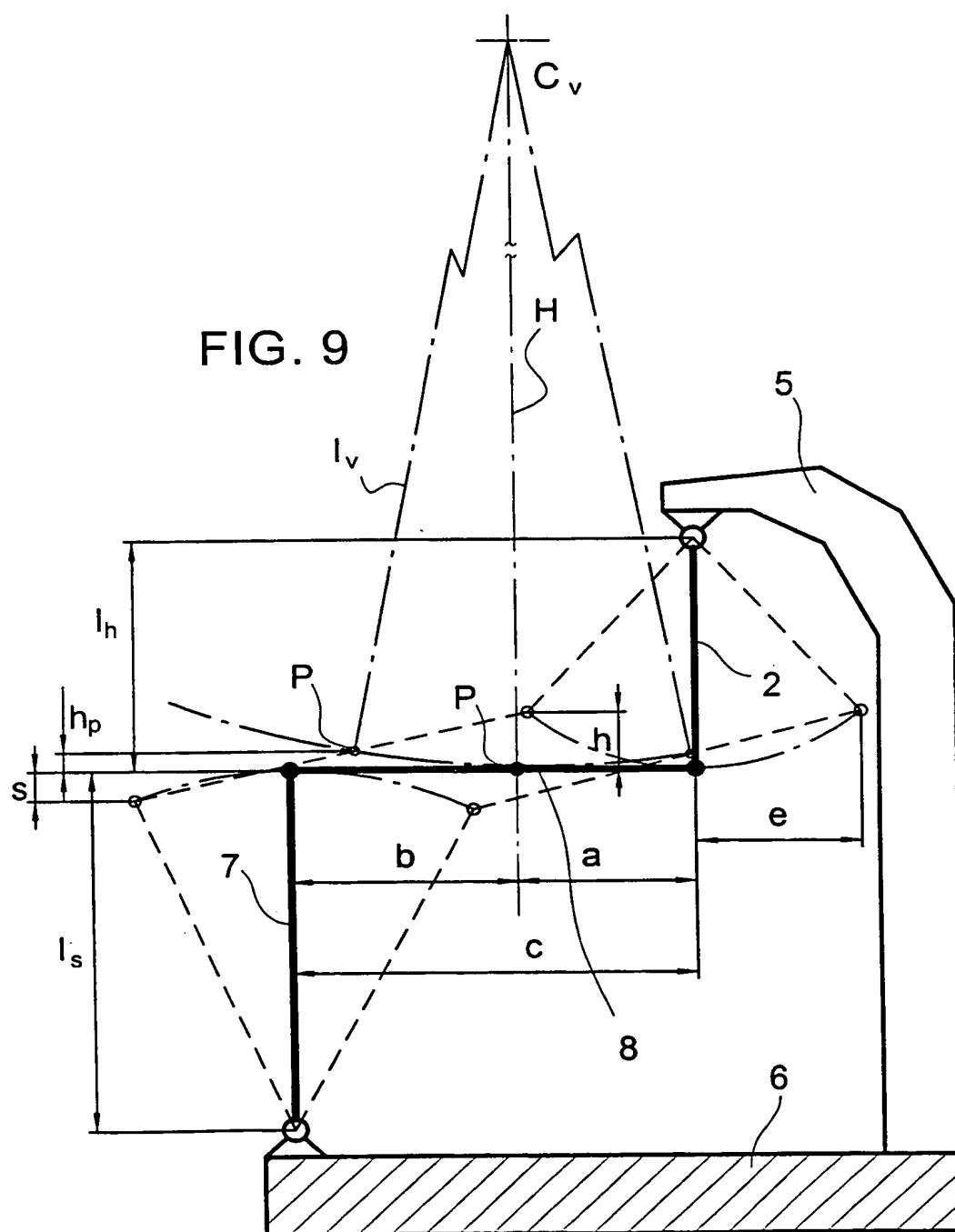


FIG. 8

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

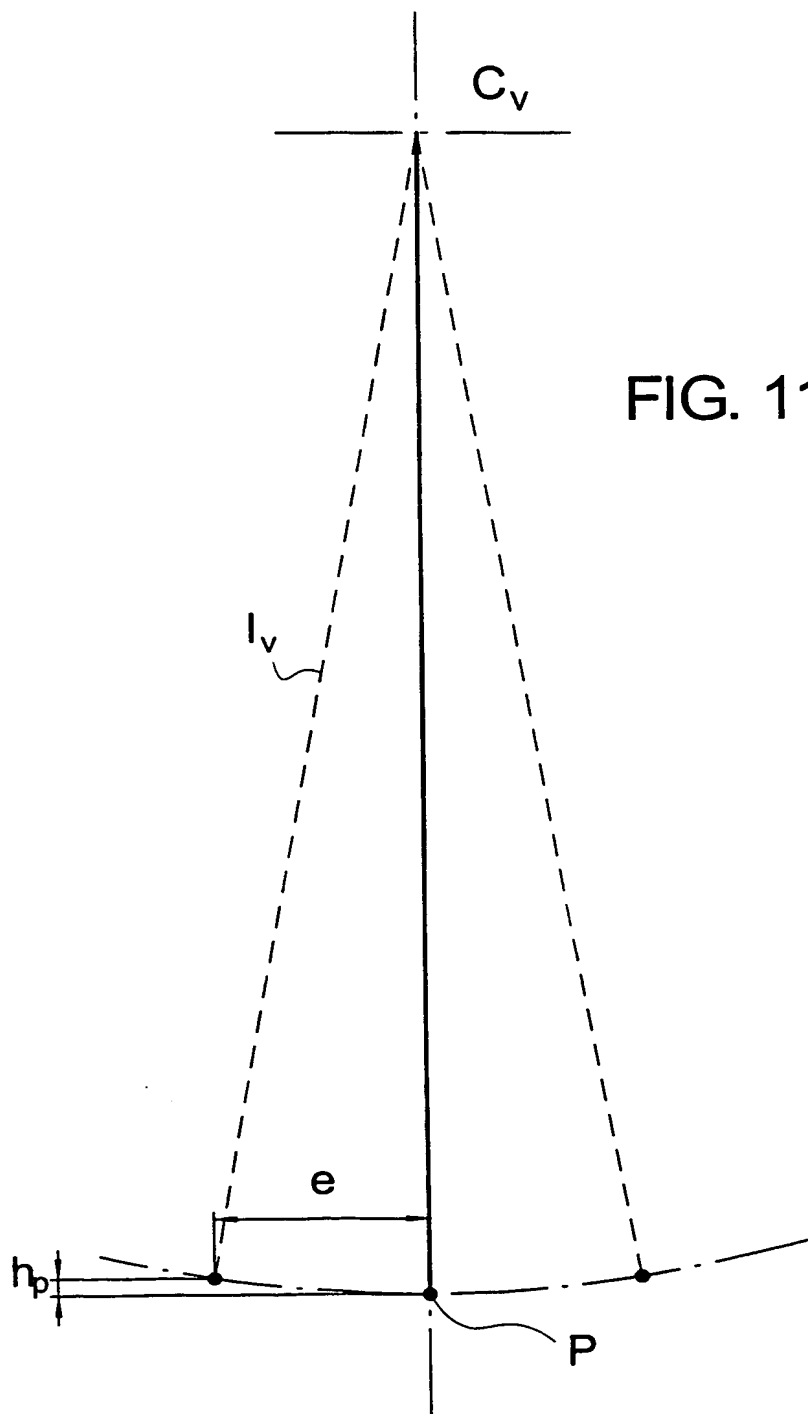


**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

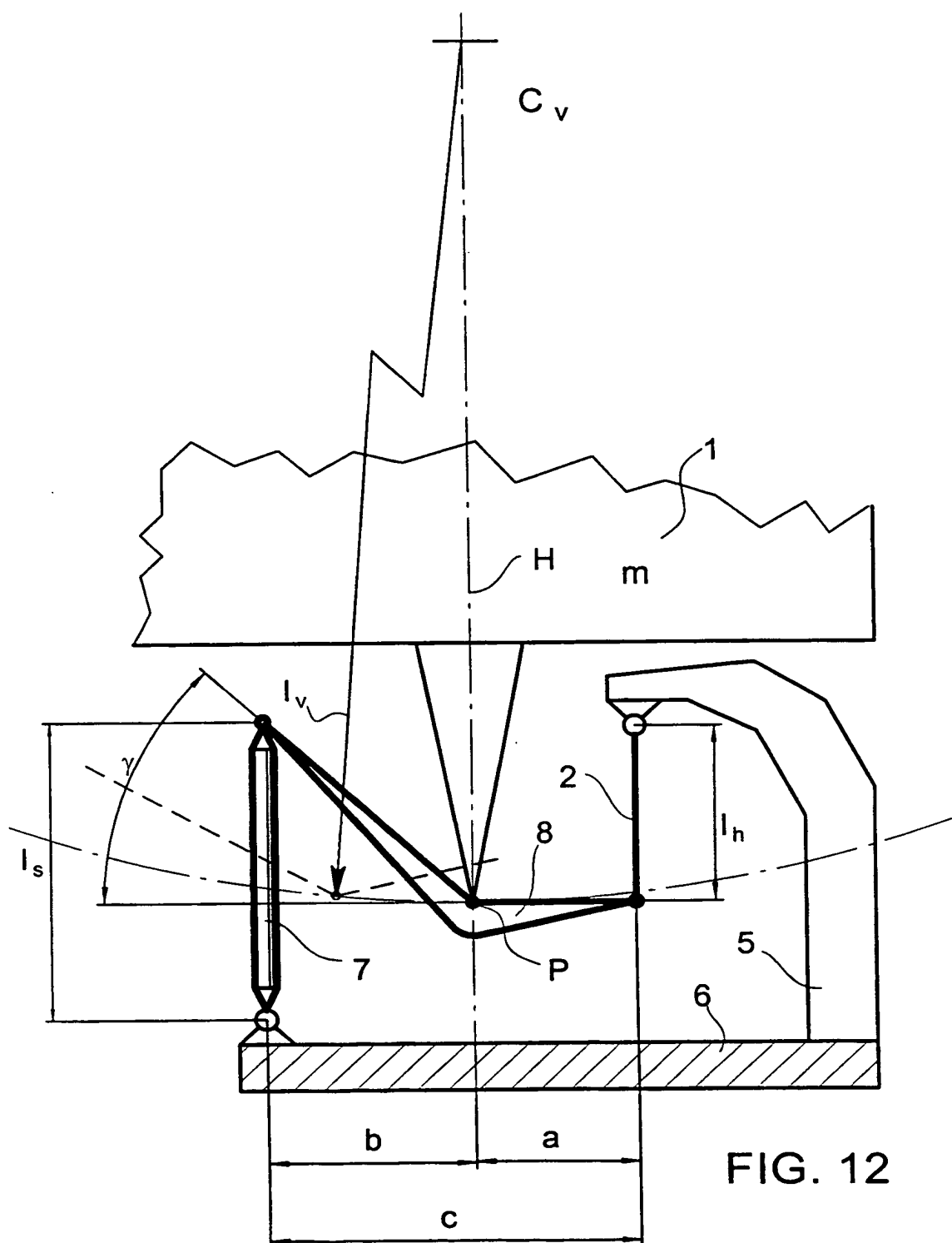
9/70



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



10 / 70



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

12/70

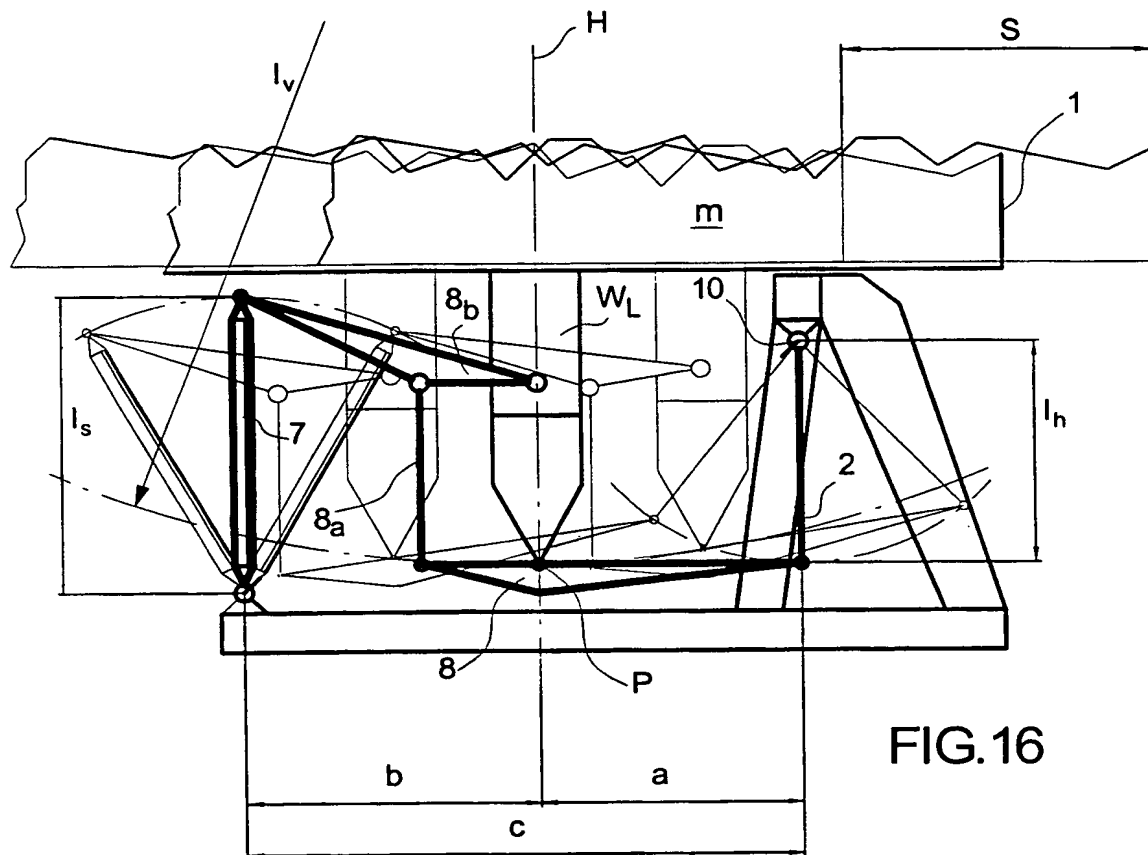
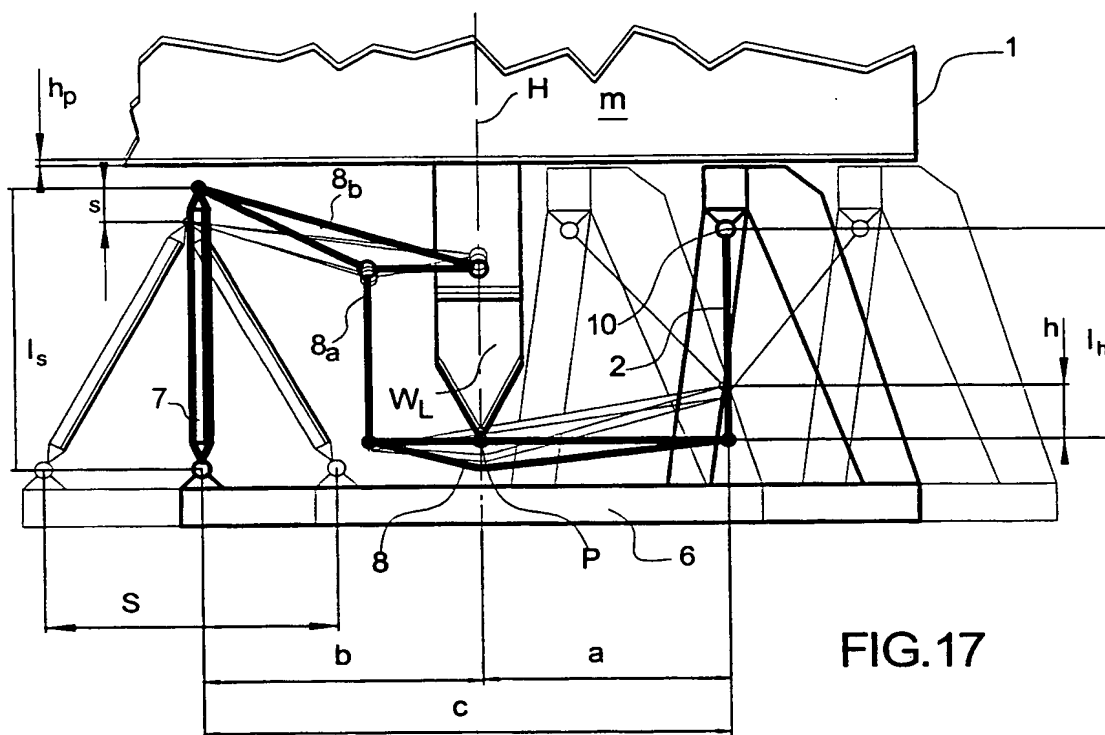


FIG.16

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



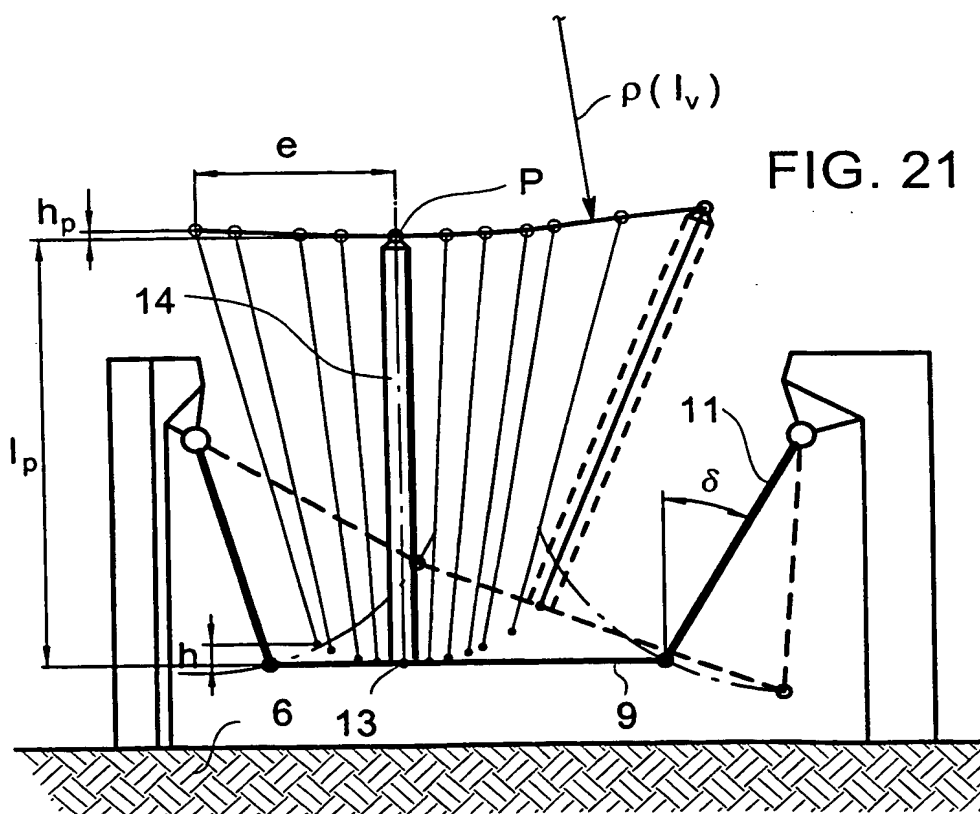
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



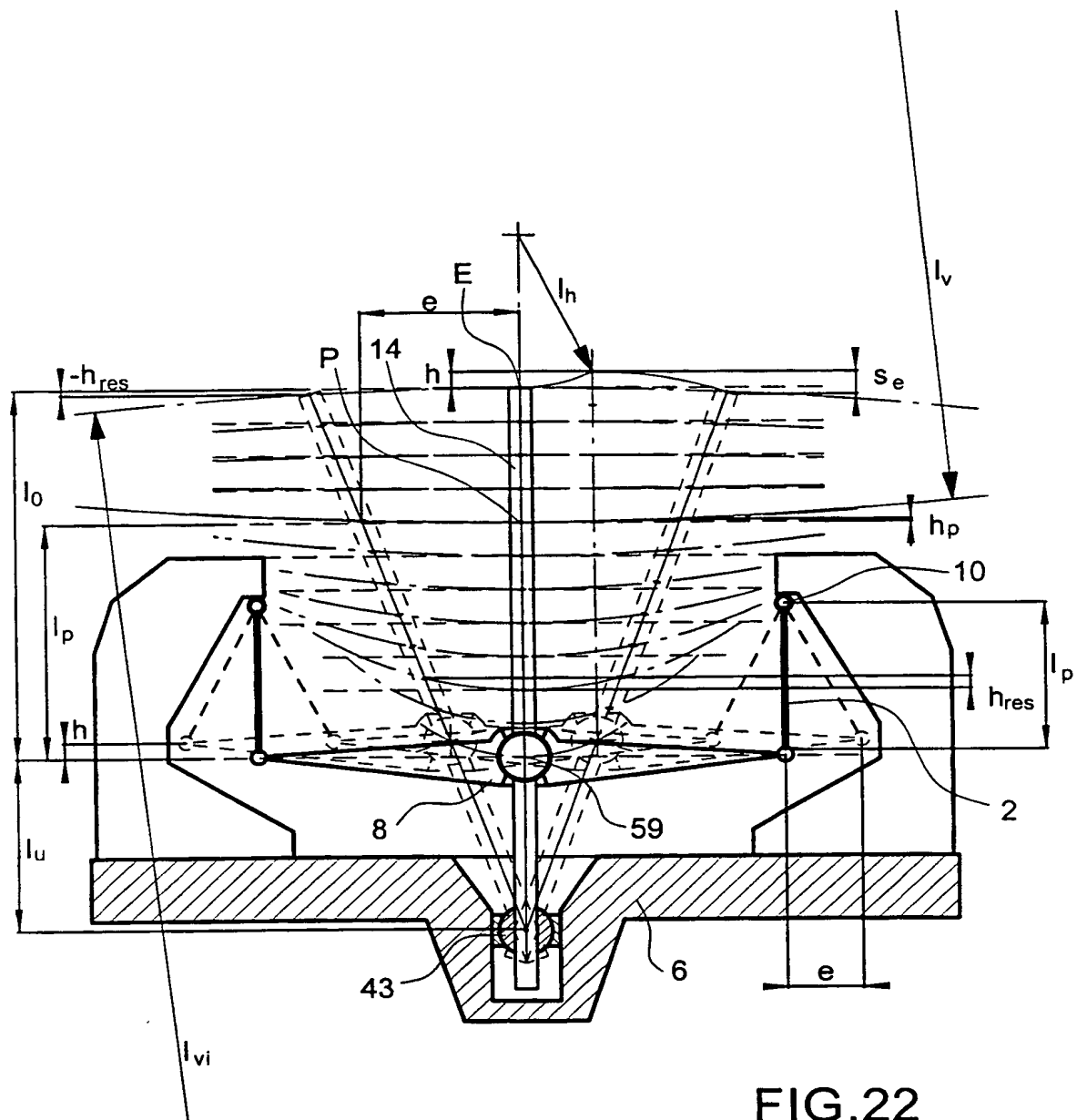


**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

15 / 70



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

17 / 70

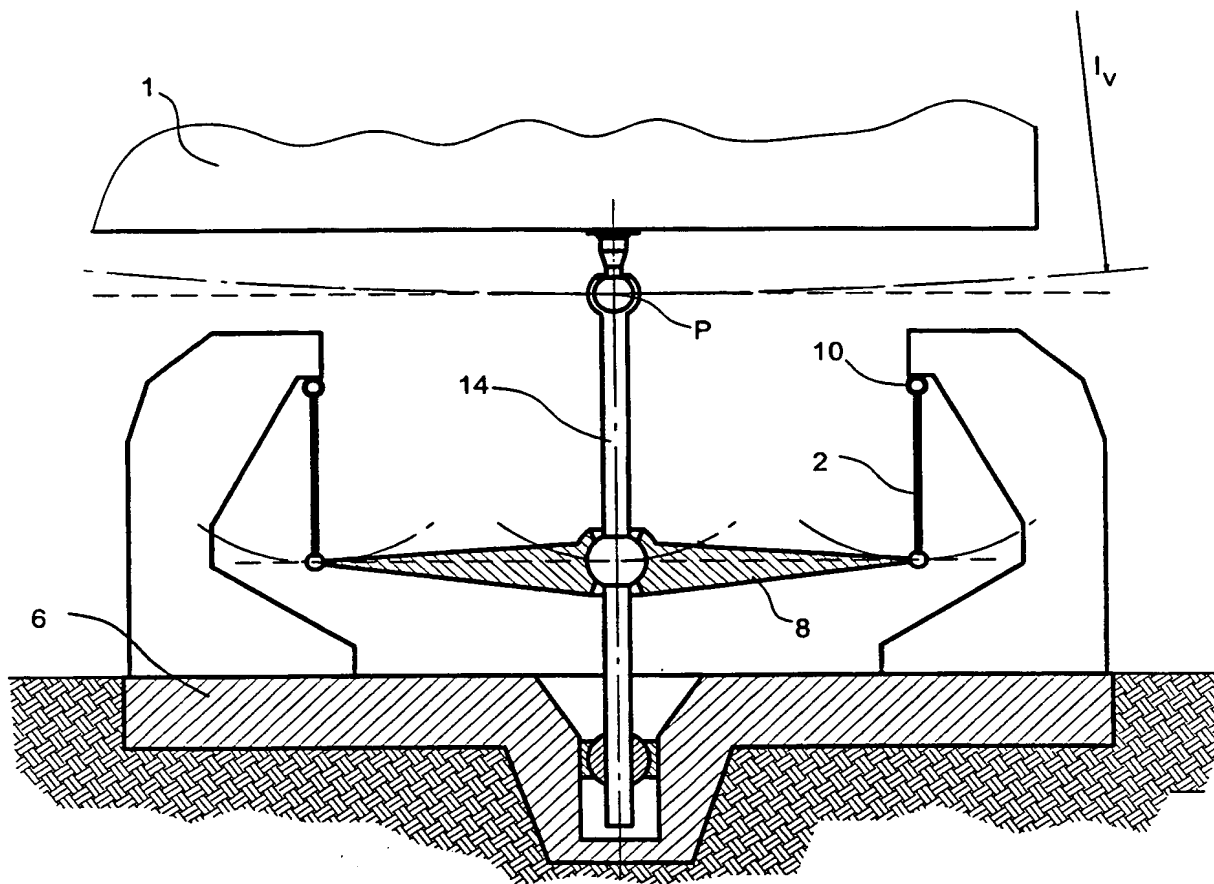


FIG.23

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



18 / 70

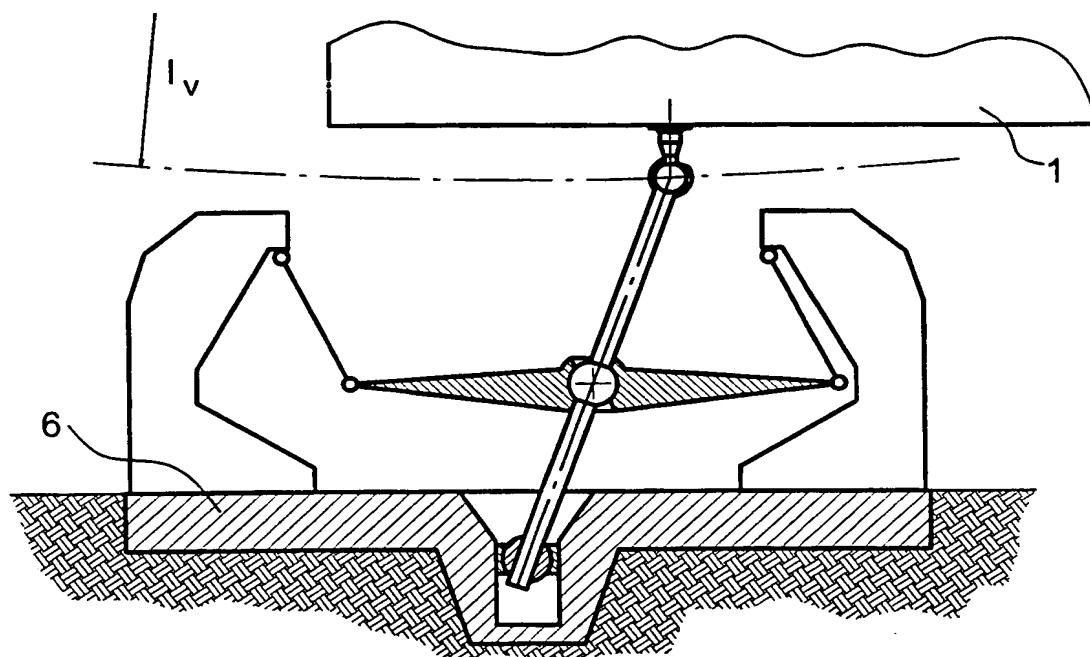


FIG. 23a

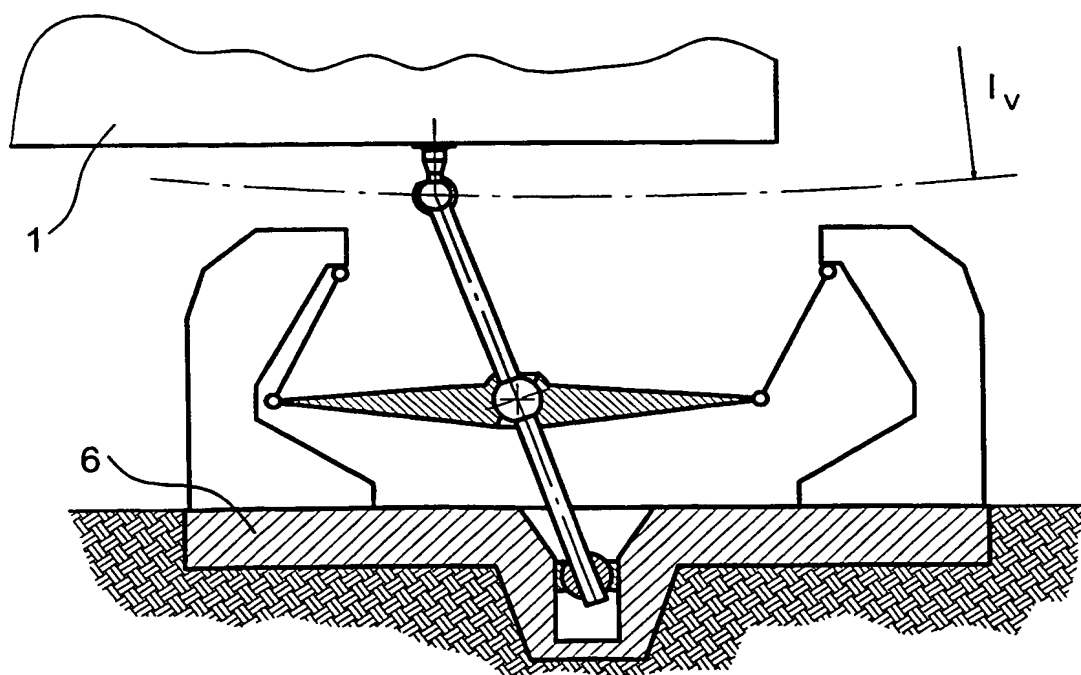
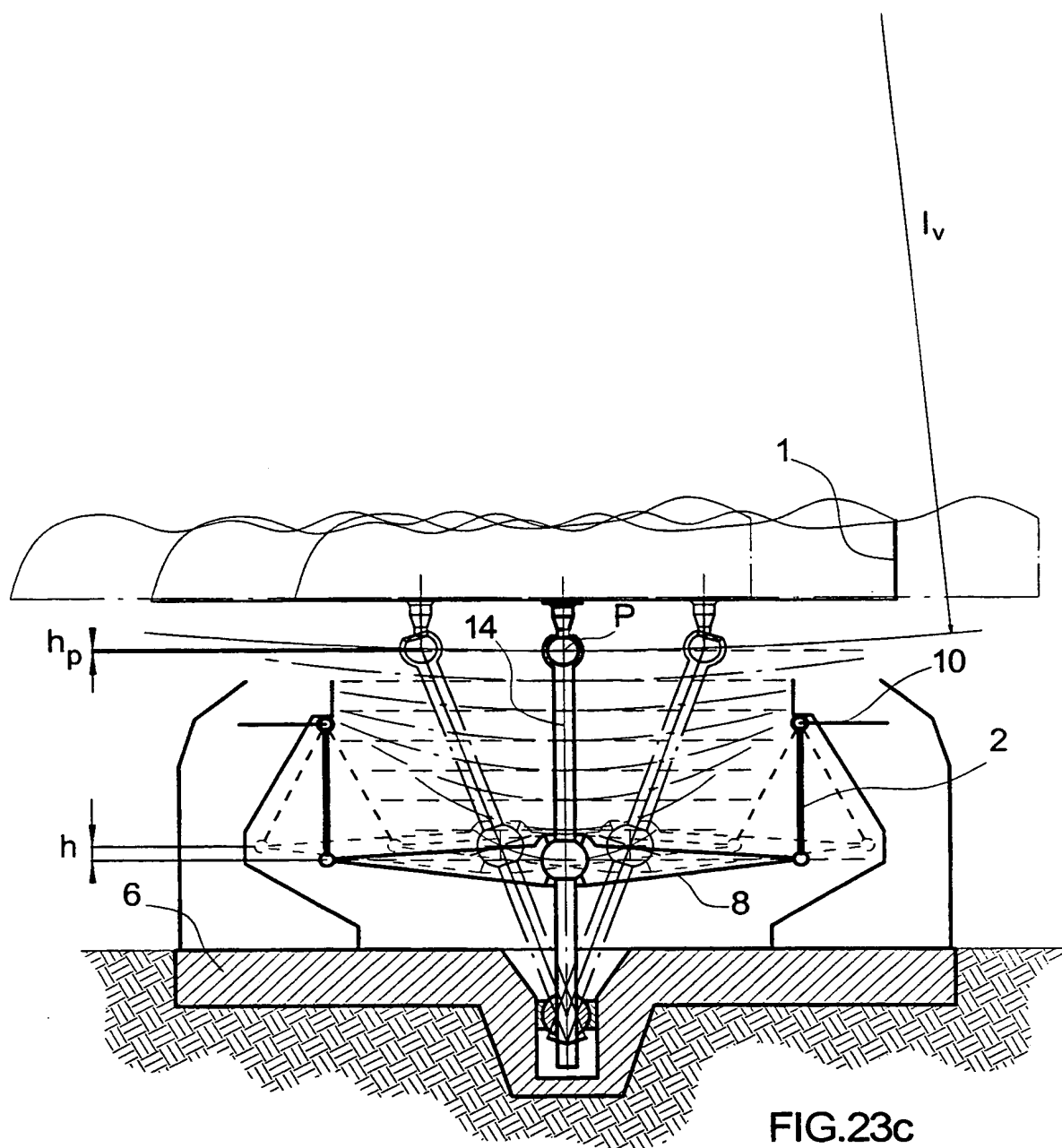


FIG. 23b

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

19/70



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

20 / 70

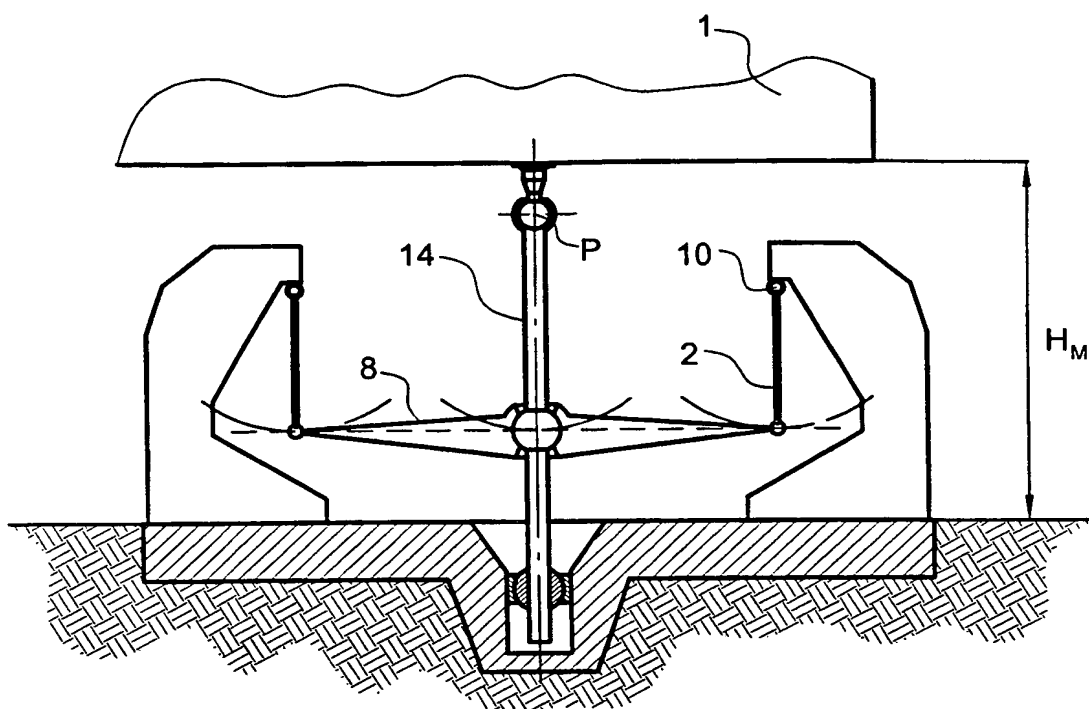
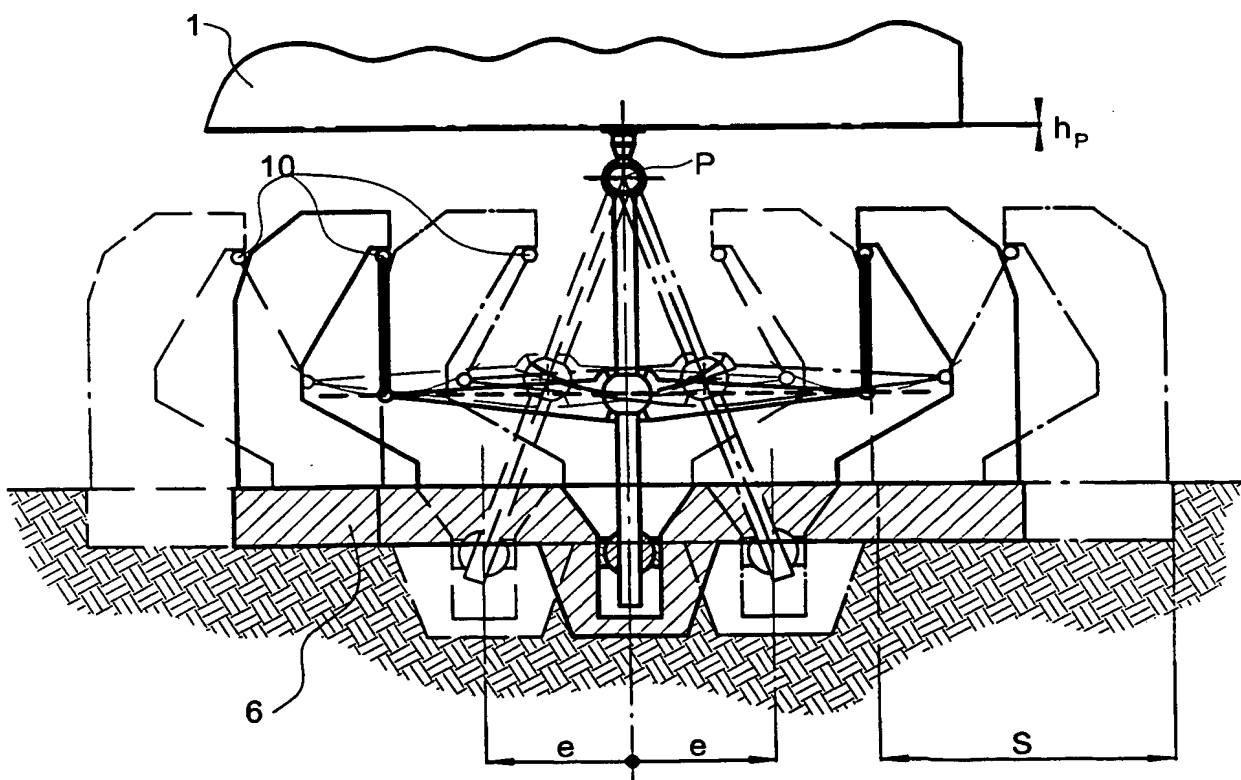


FIG. 24



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

21 / 70

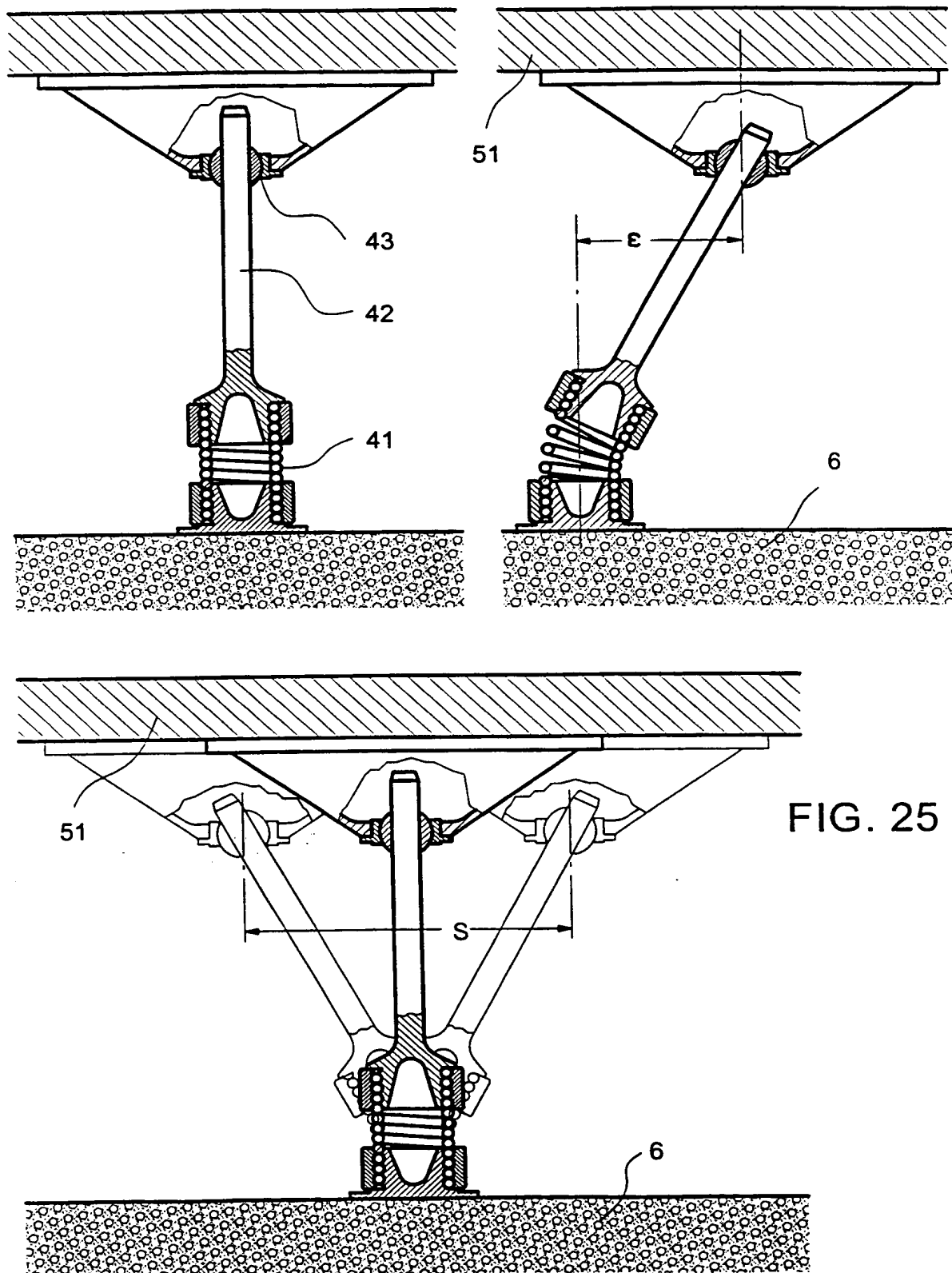


FIG. 25

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



22 / 70

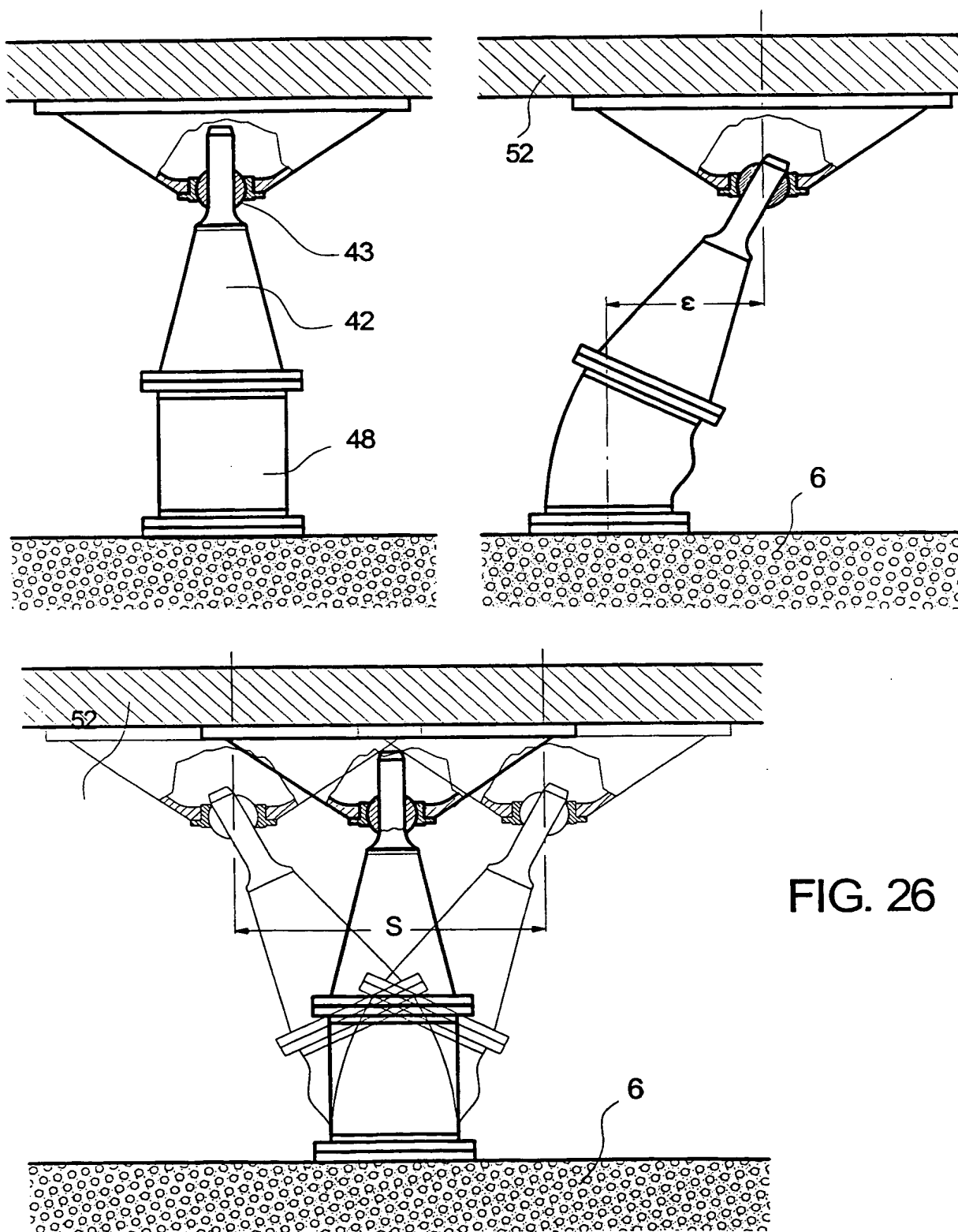


FIG. 26

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

23 / 70

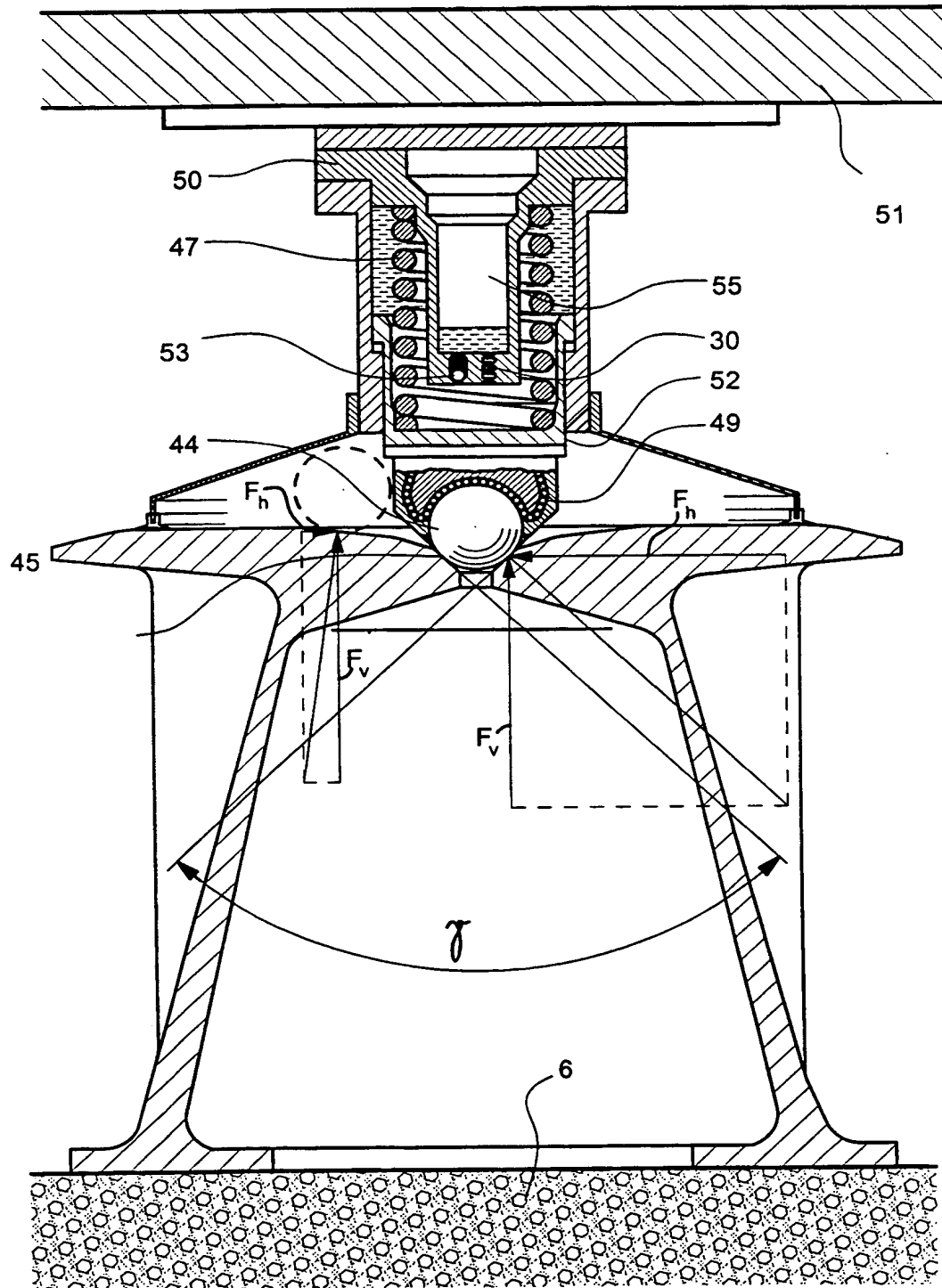


FIG. 27

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

24 / 70

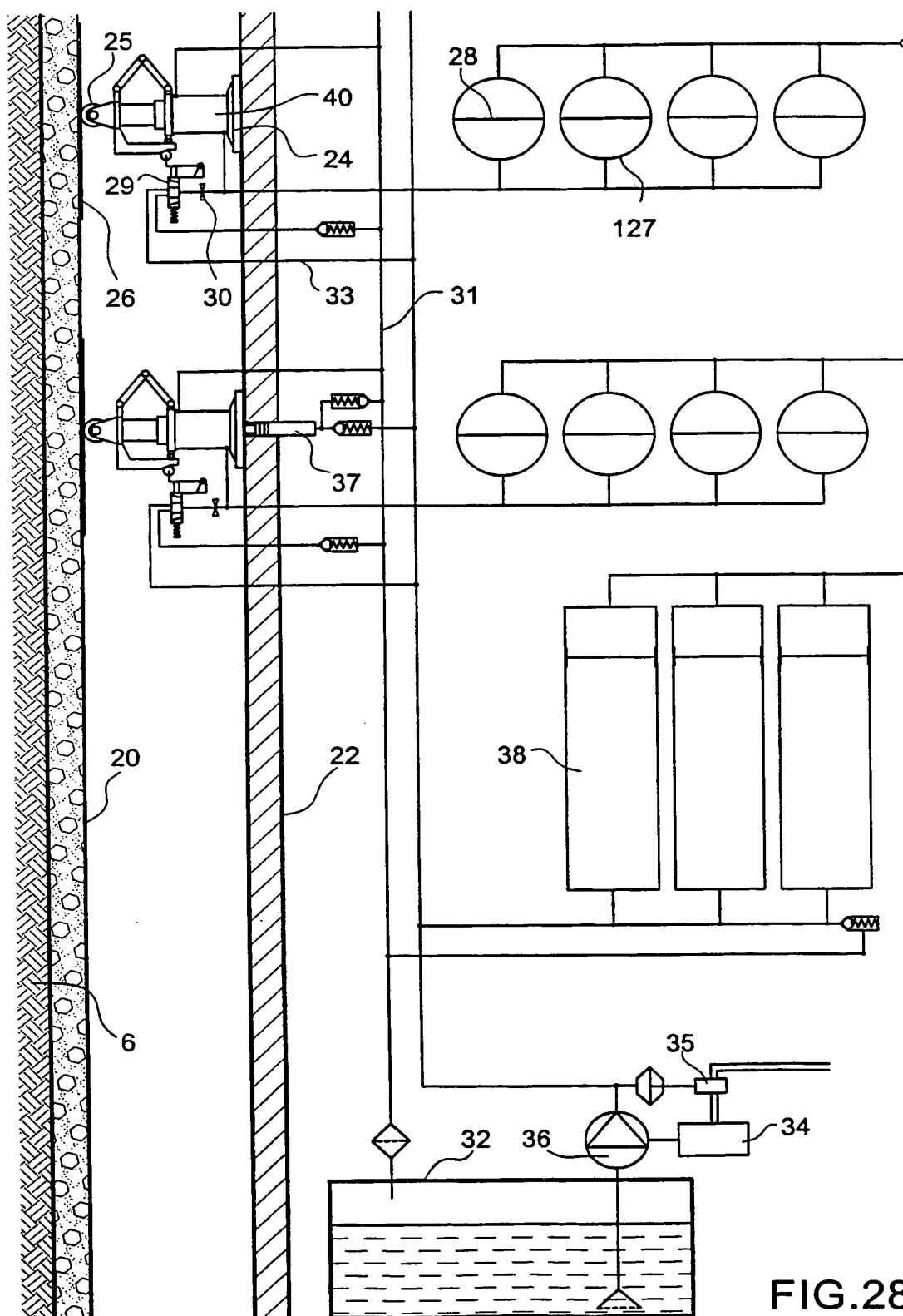


FIG. 28

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

25 /70

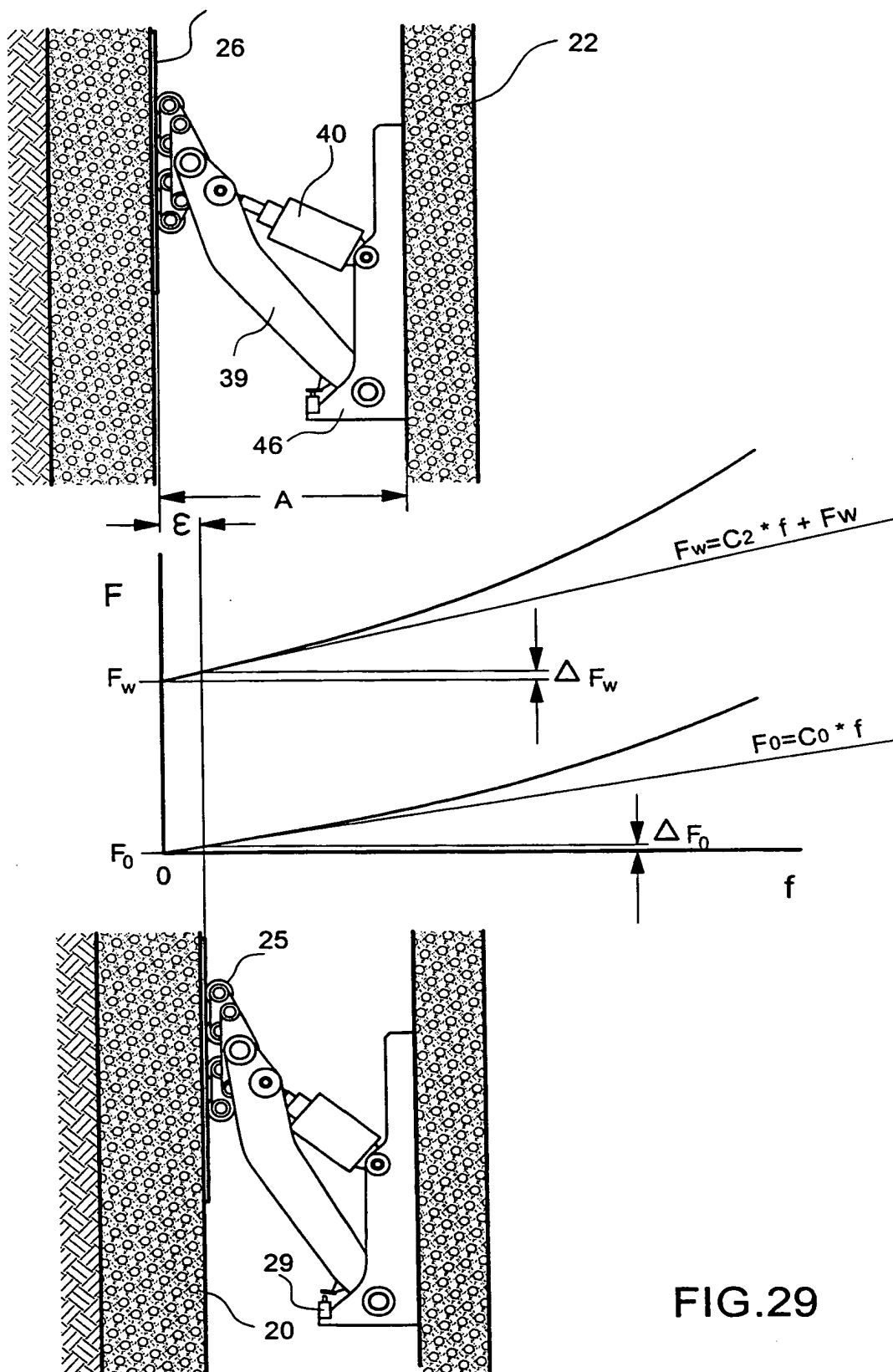


FIG.29

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



26 / 70

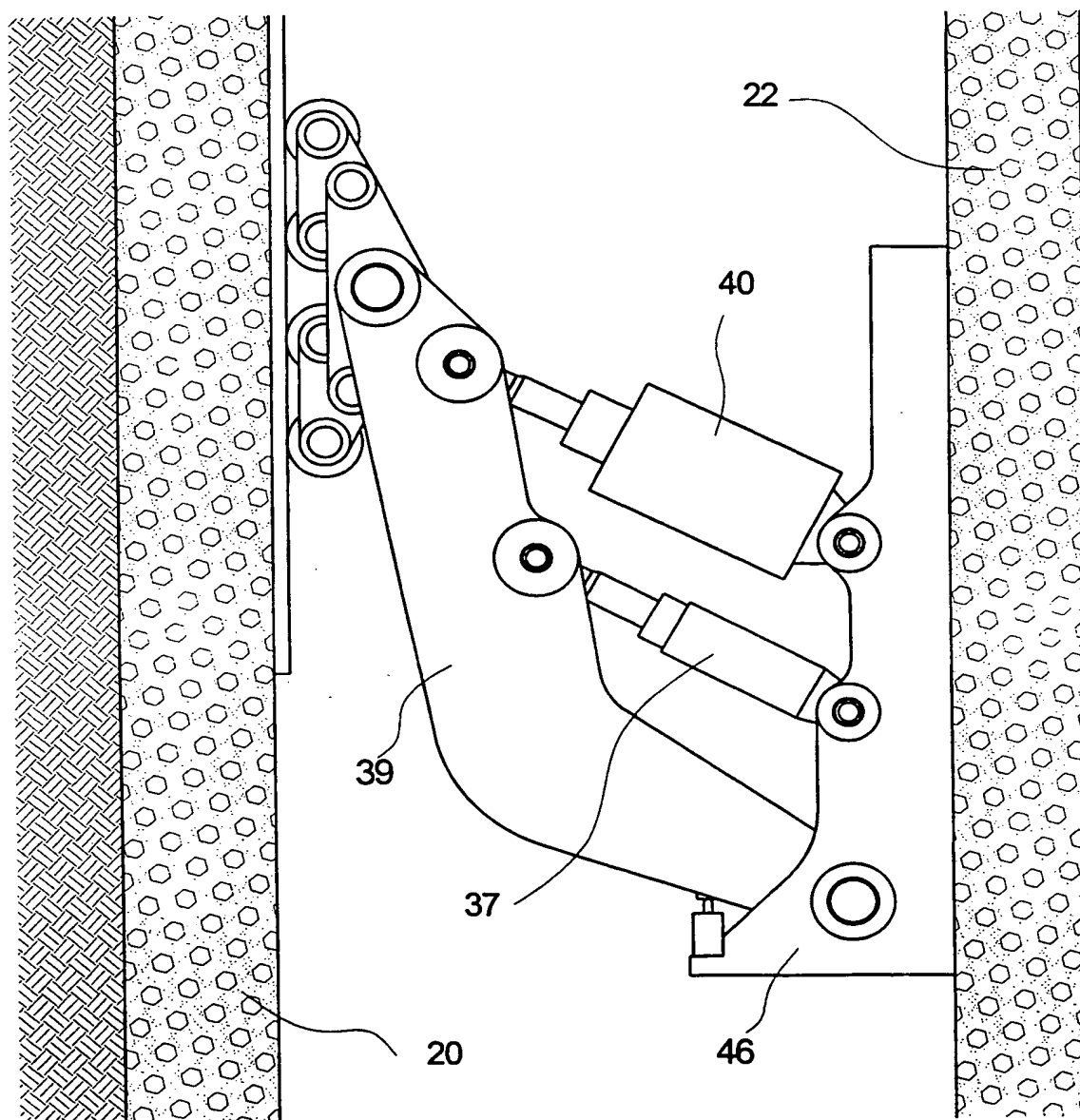
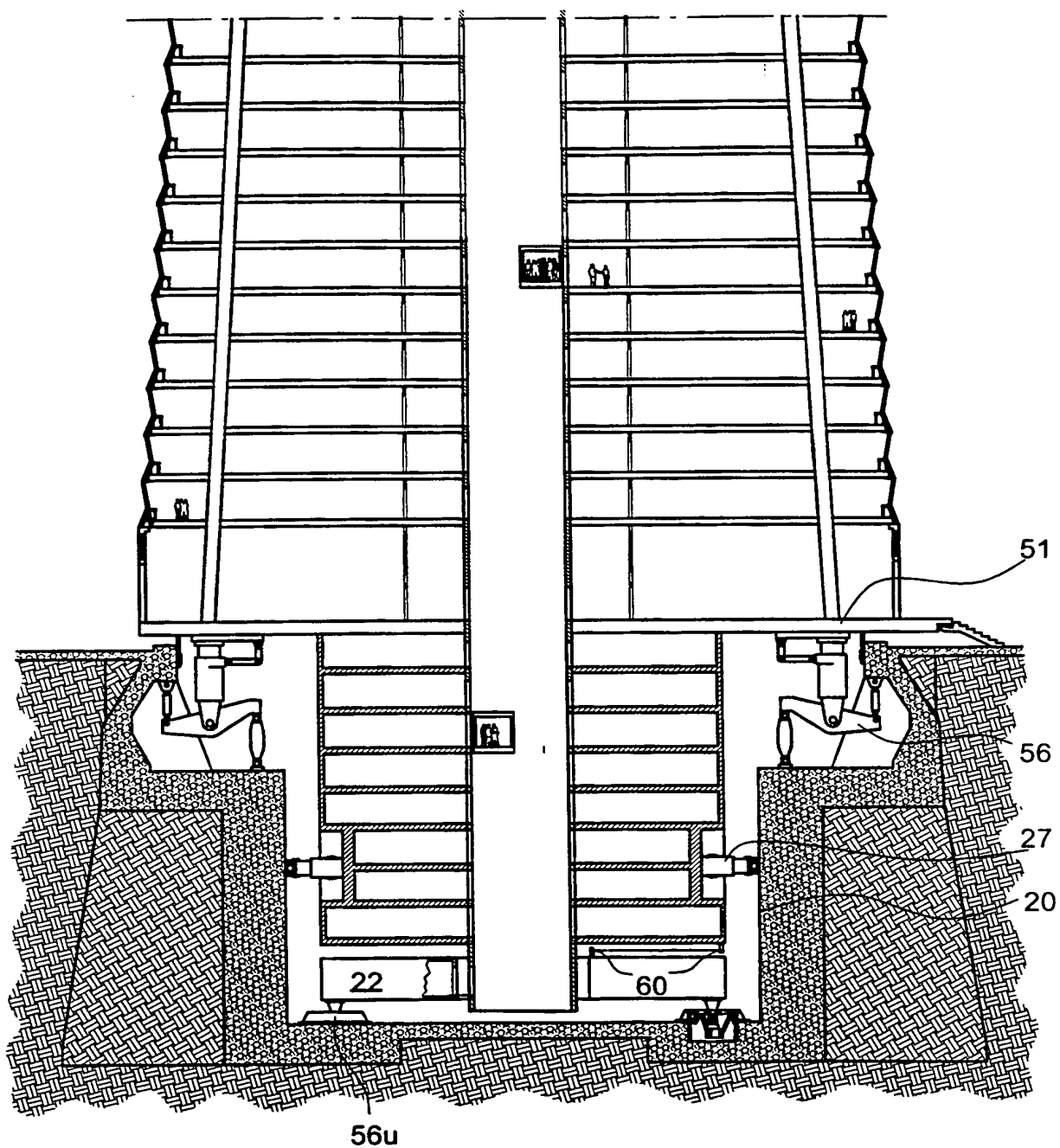


FIG.30

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

27 / 70



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

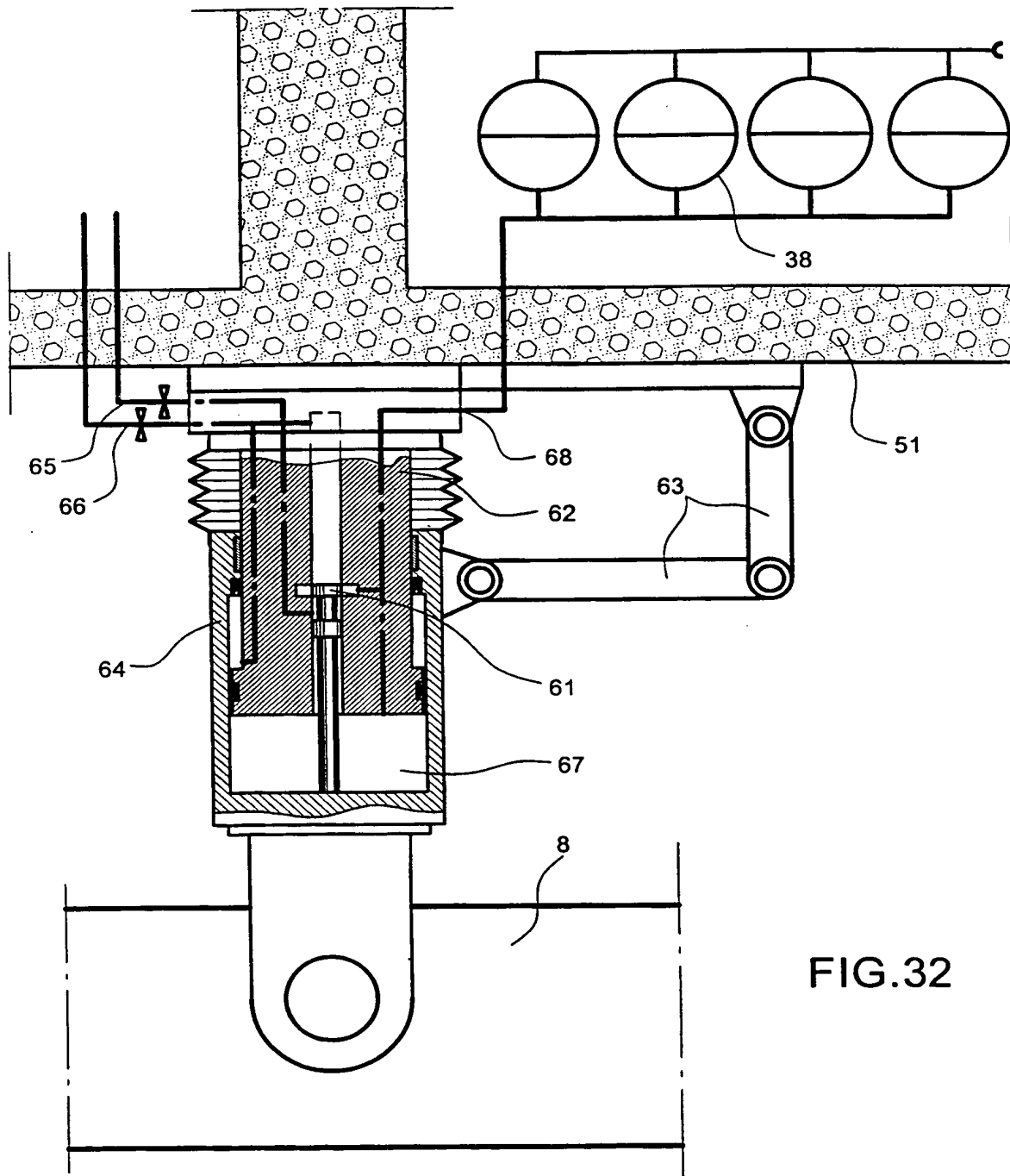


FIG.32

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

29 / 70

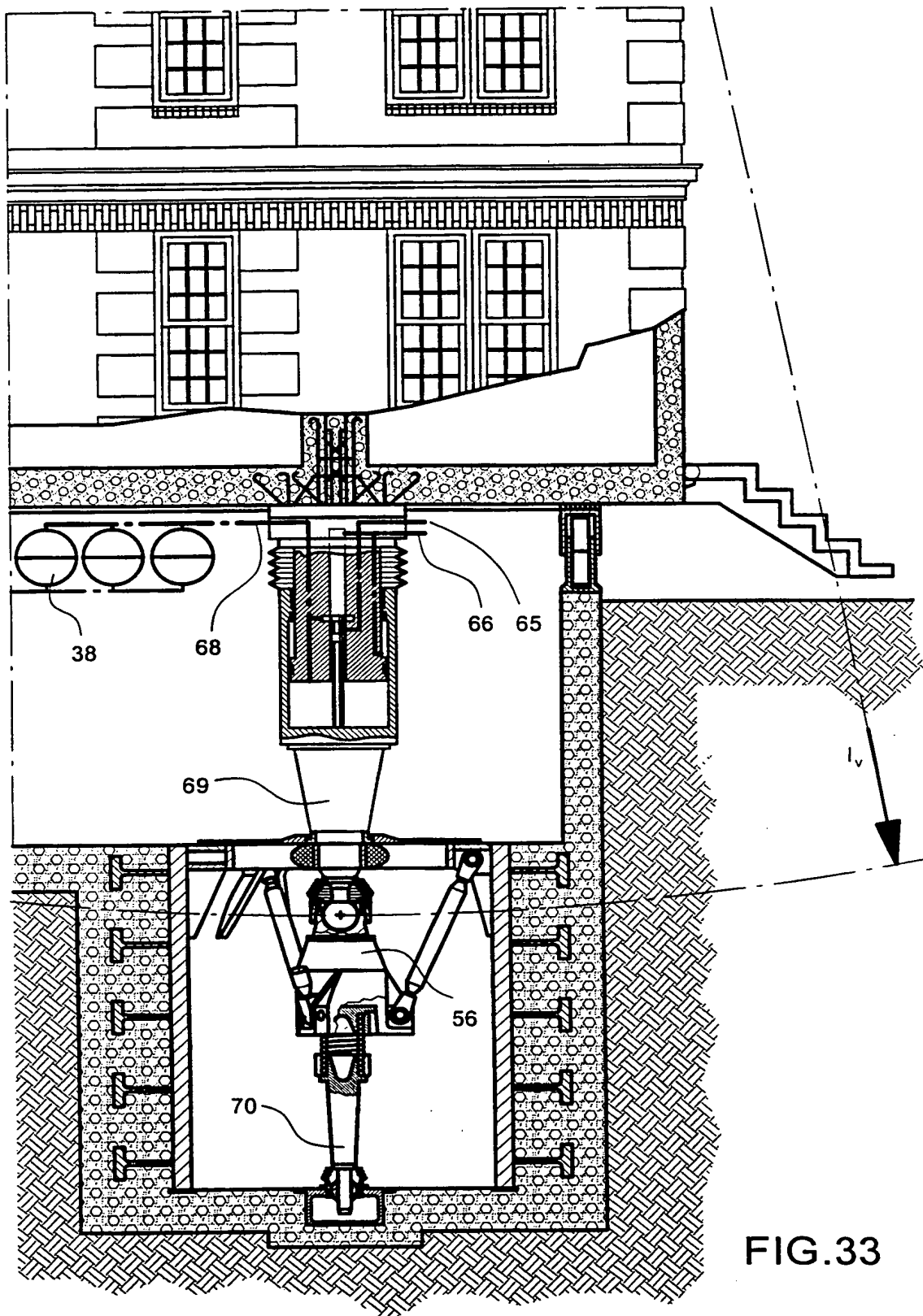


FIG. 33

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



30 /70

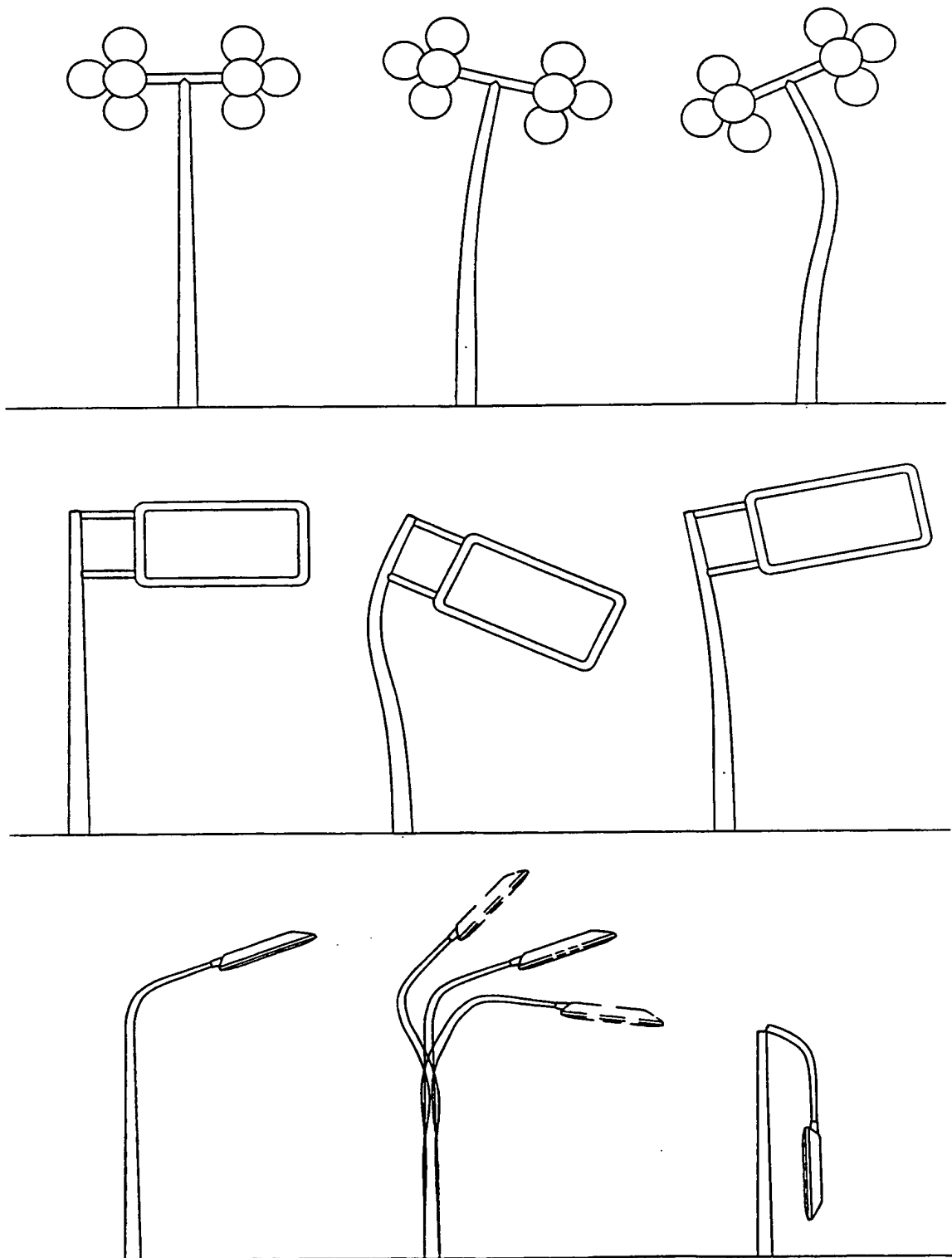
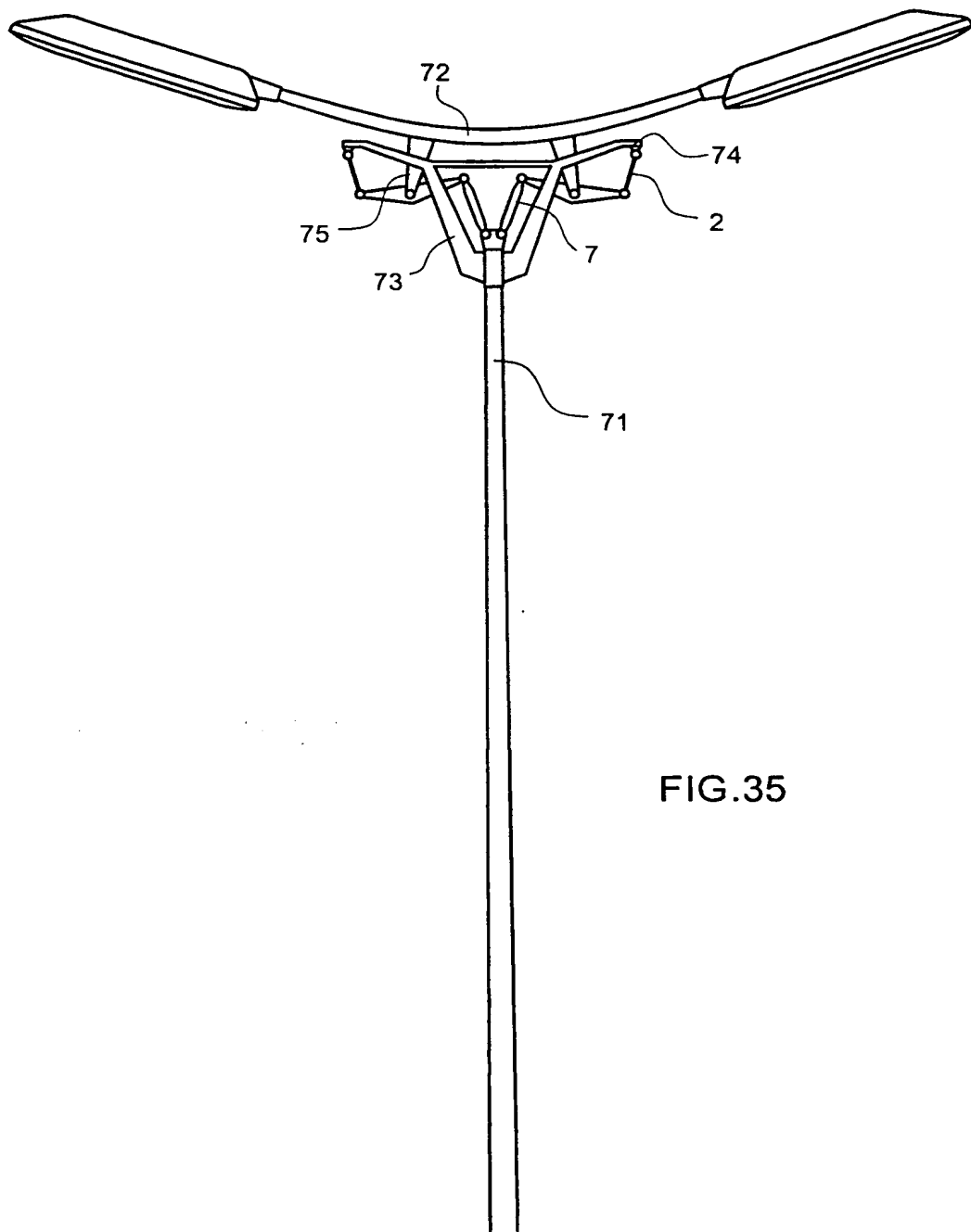


FIG.34

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

31 /70



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

32 / 70

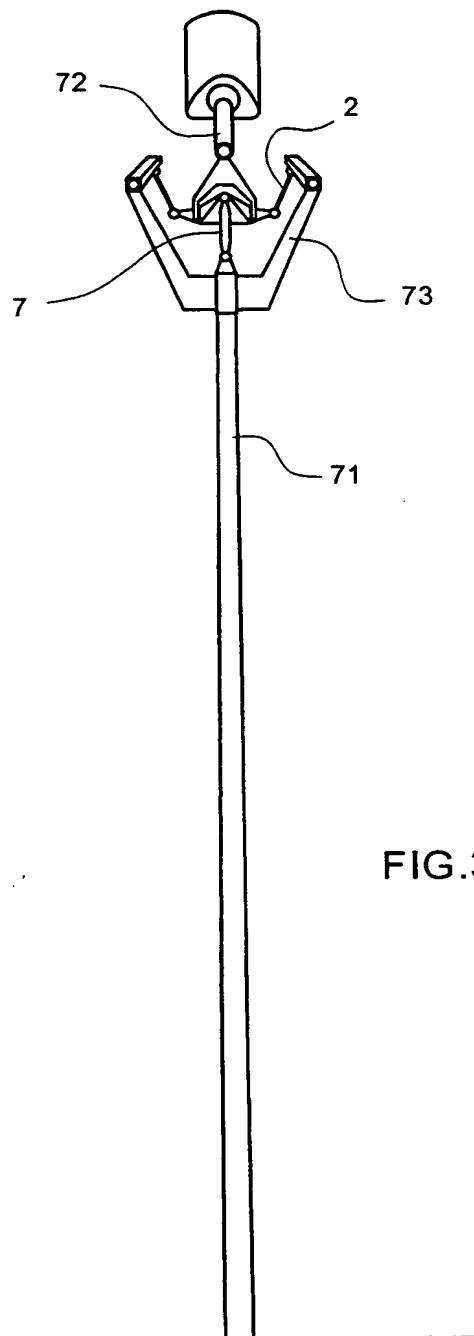


FIG.35a

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

33 /70

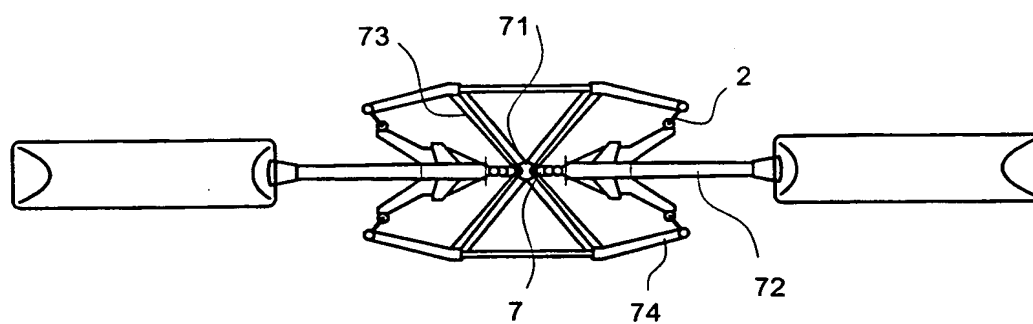


FIG.35b

SPAG

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



34 / 70

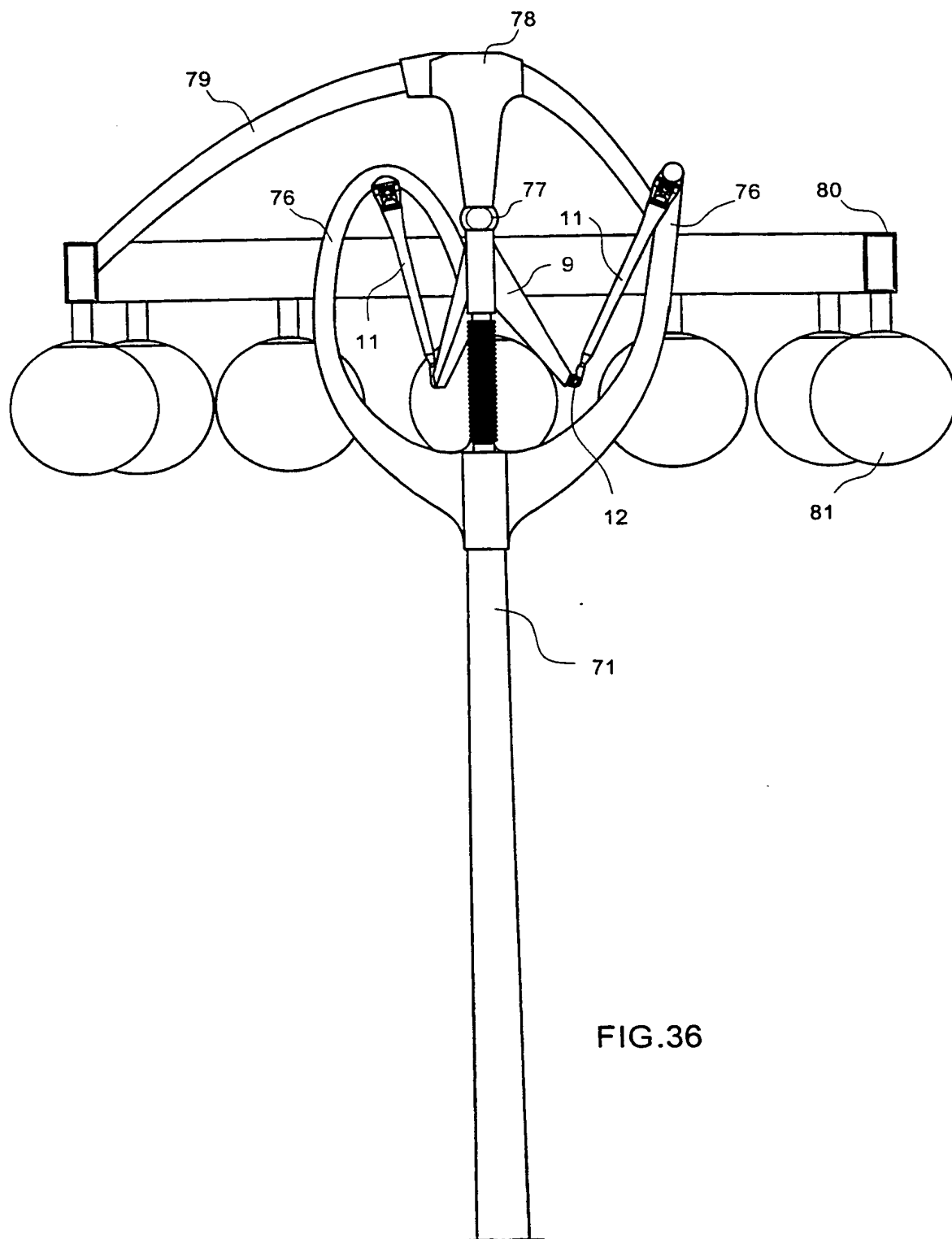


FIG.36

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

35 /70

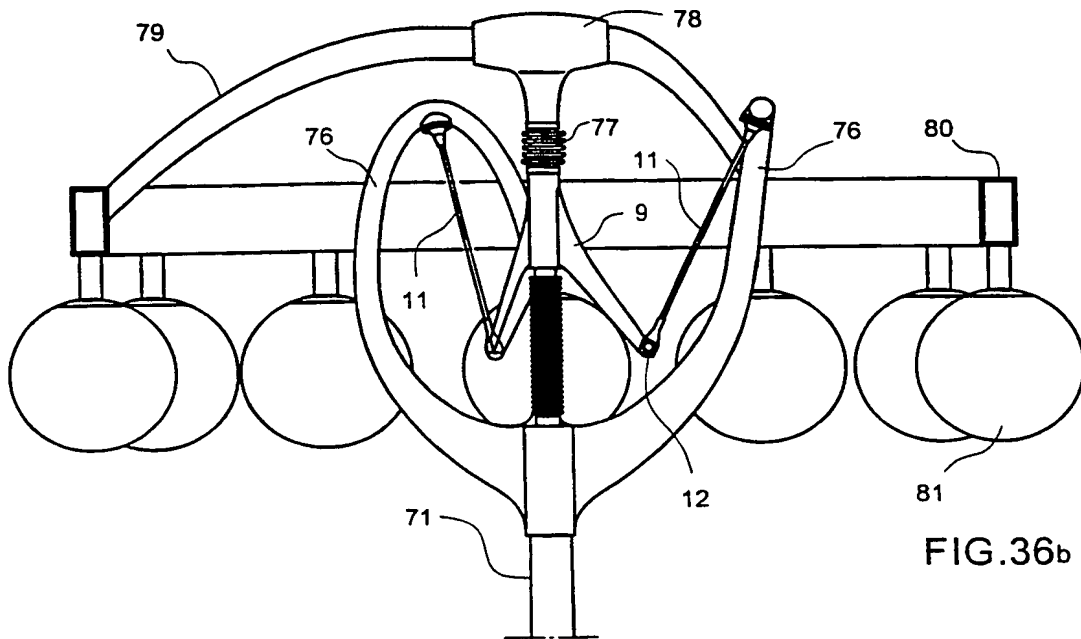


FIG.36b

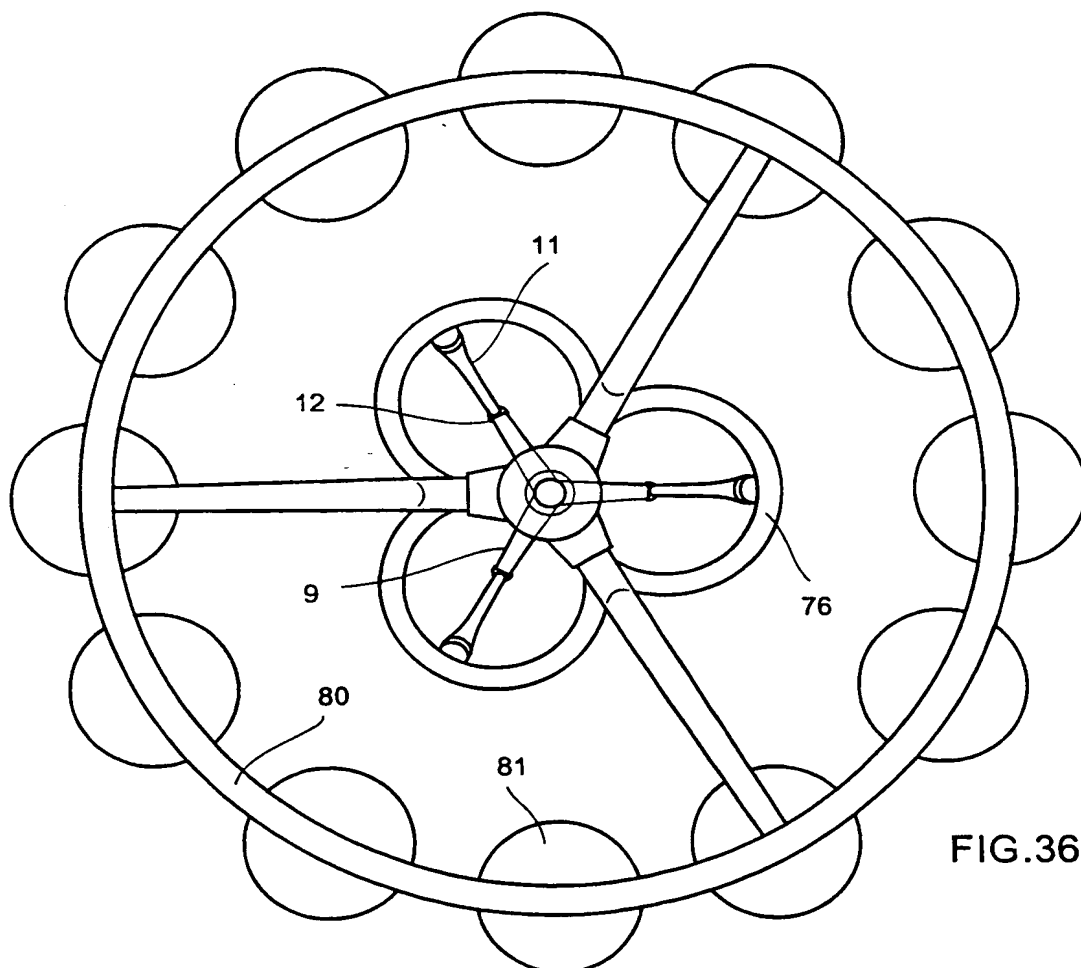


FIG.36a

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

36 / 70

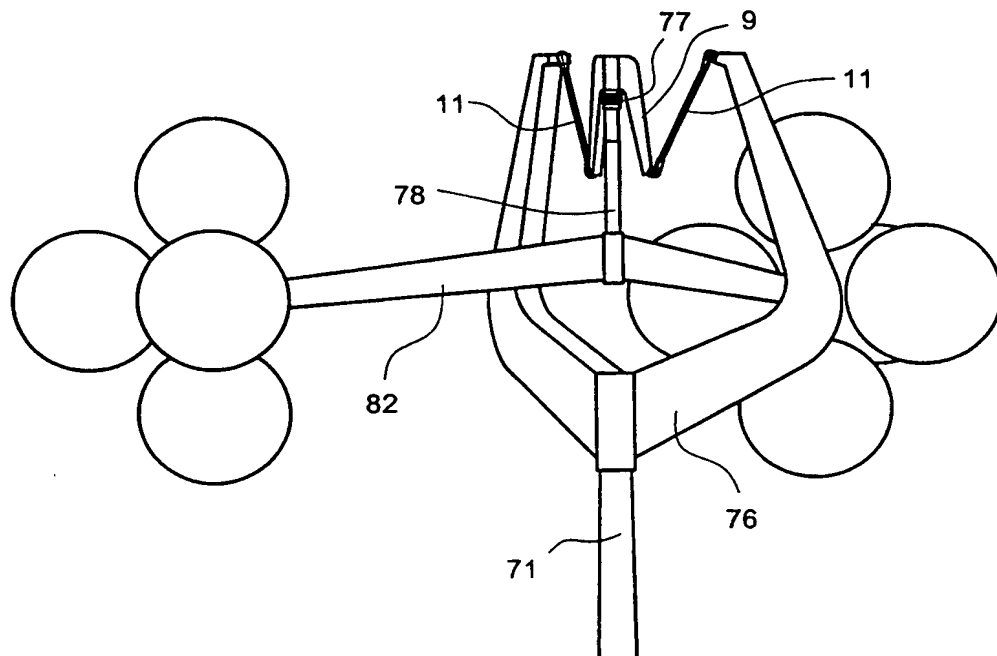
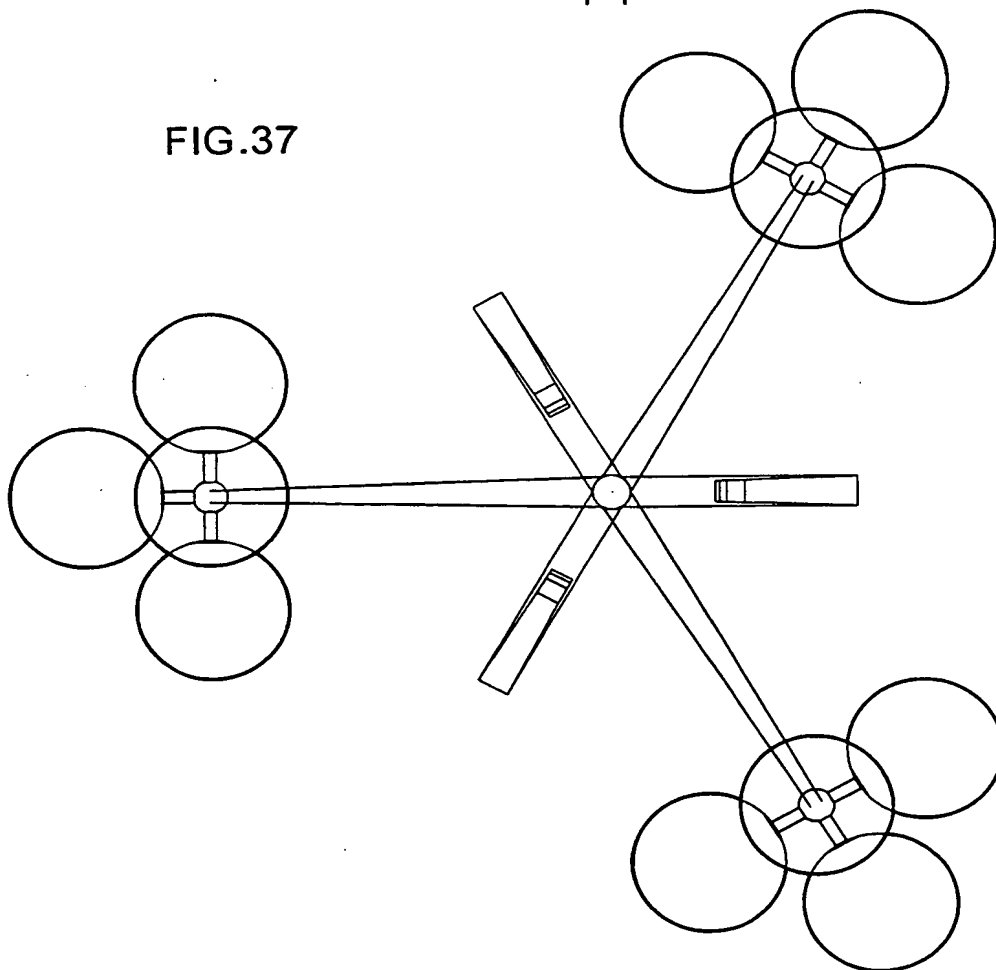


FIG.37



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

37 /70

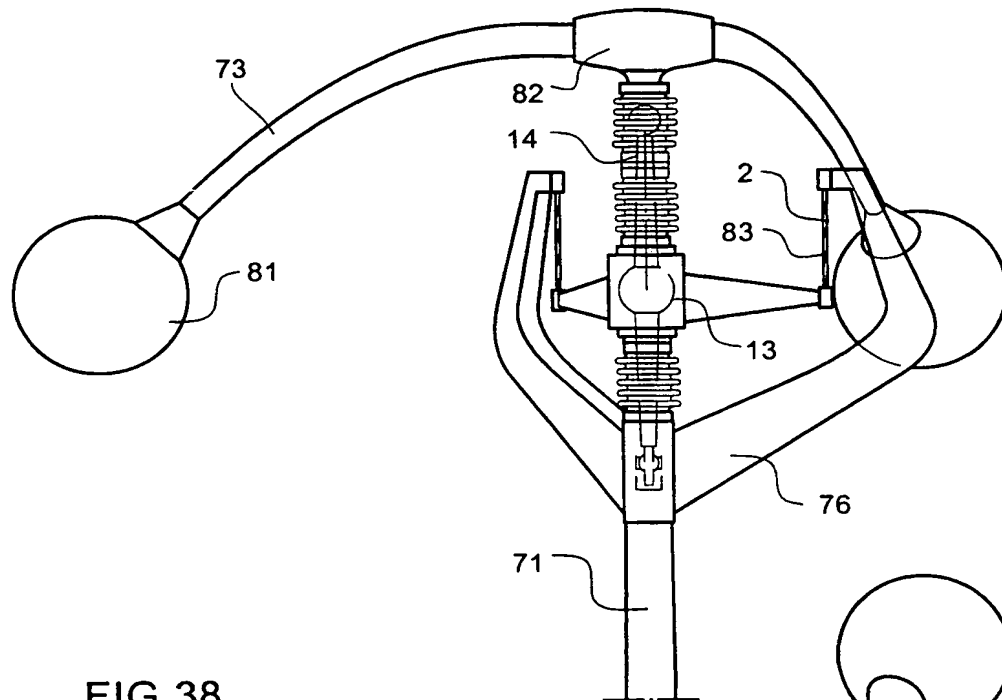
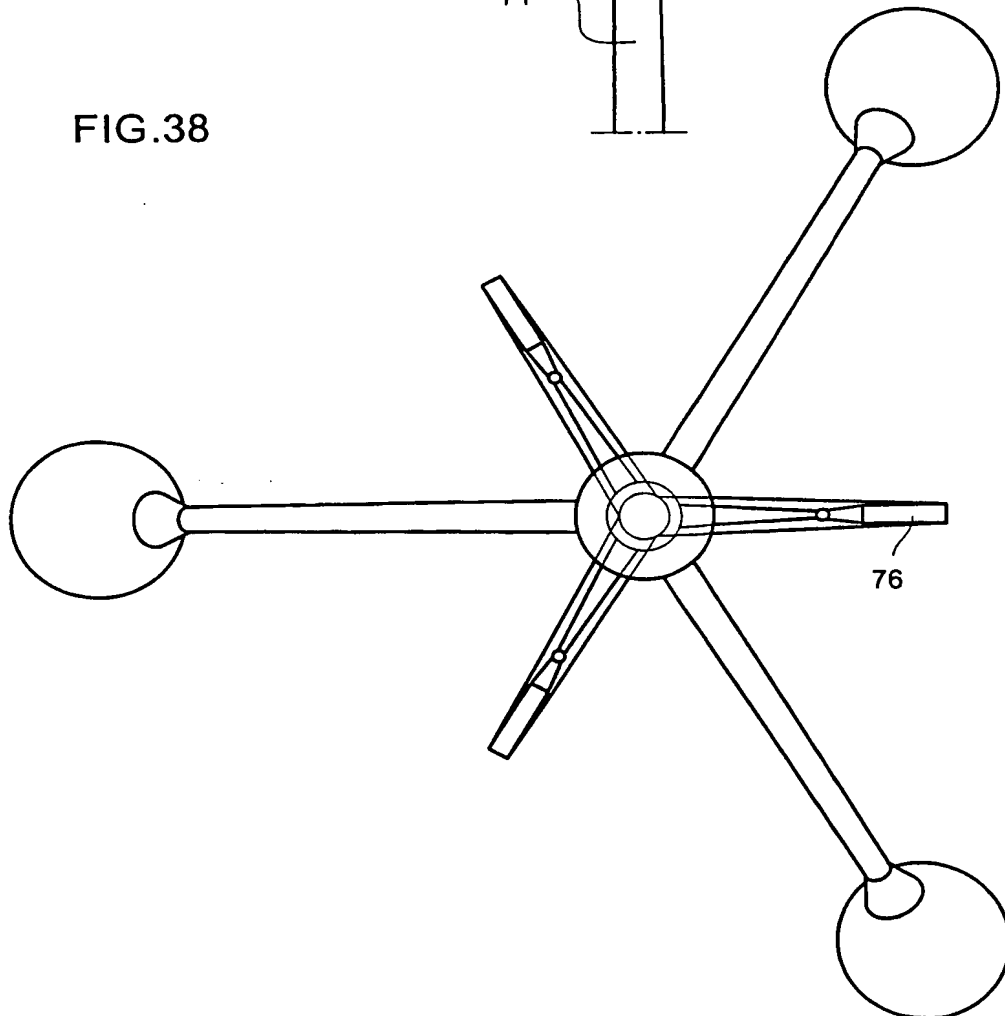


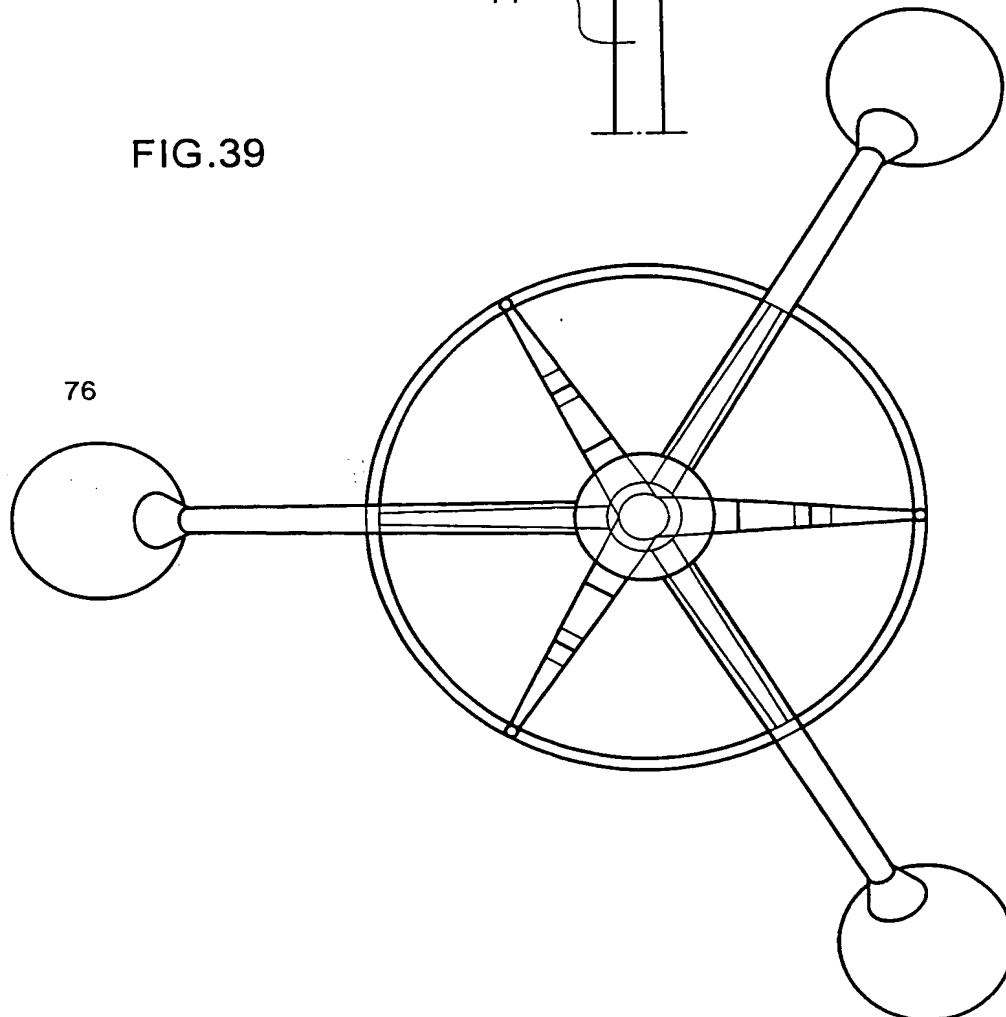
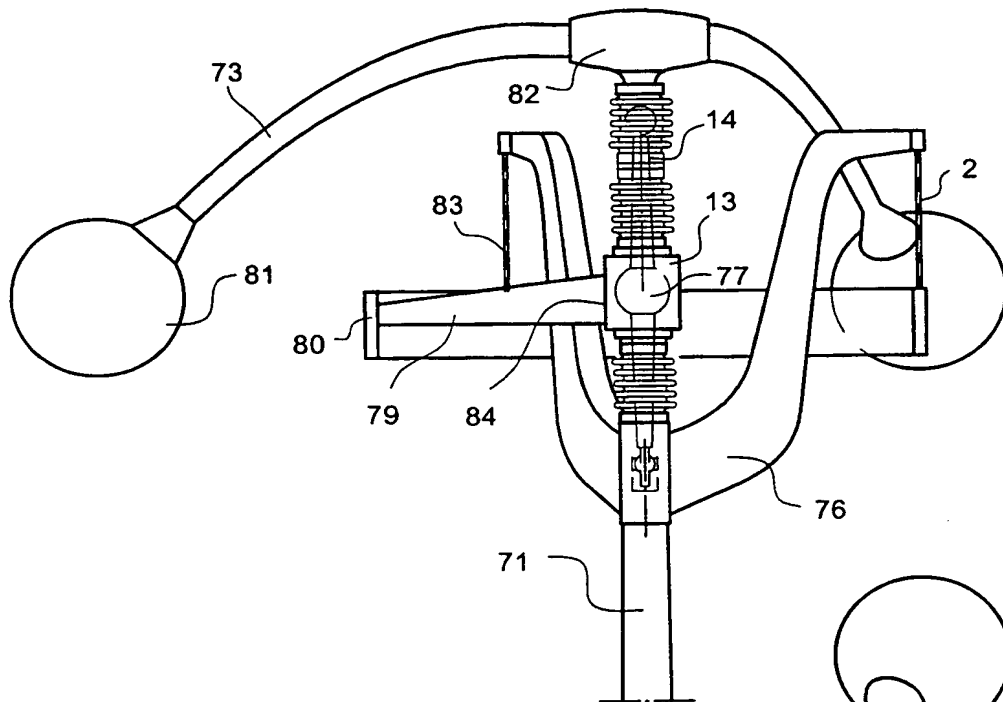
FIG. 38



**THIS IS A BLANK (USPTO)**



38 / 70



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

39 /70

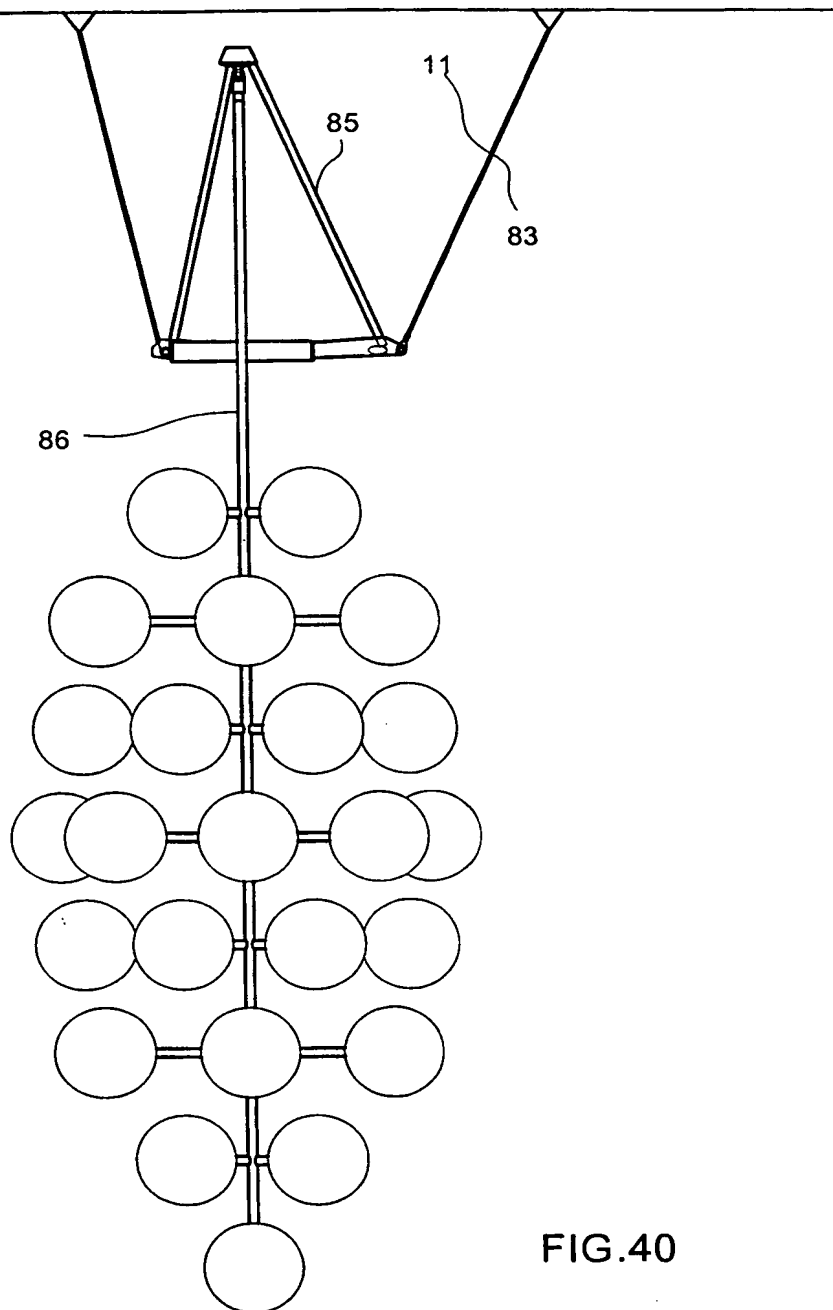


FIG.40

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

40 / 70

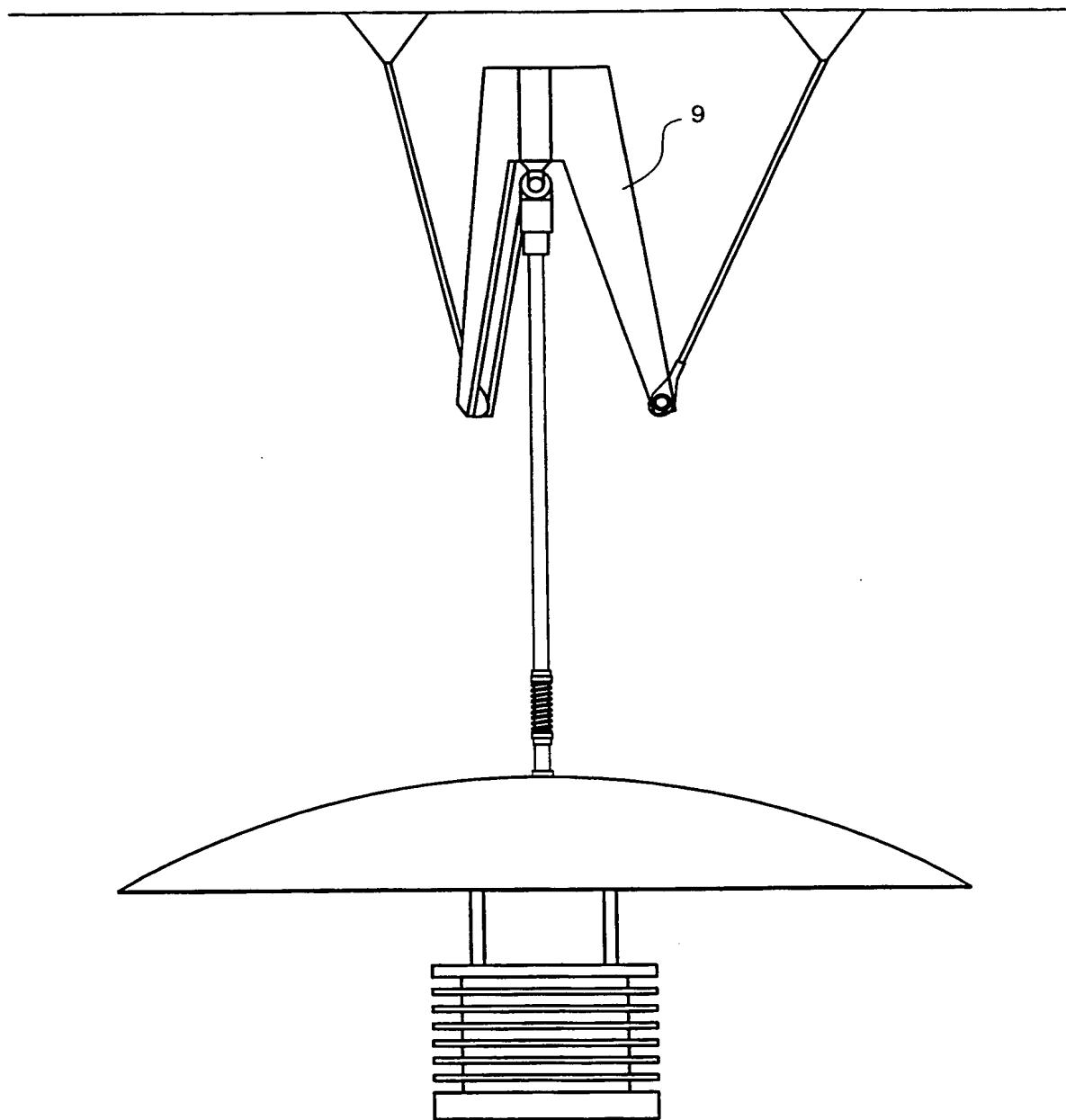


FIG.41

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

41 /70

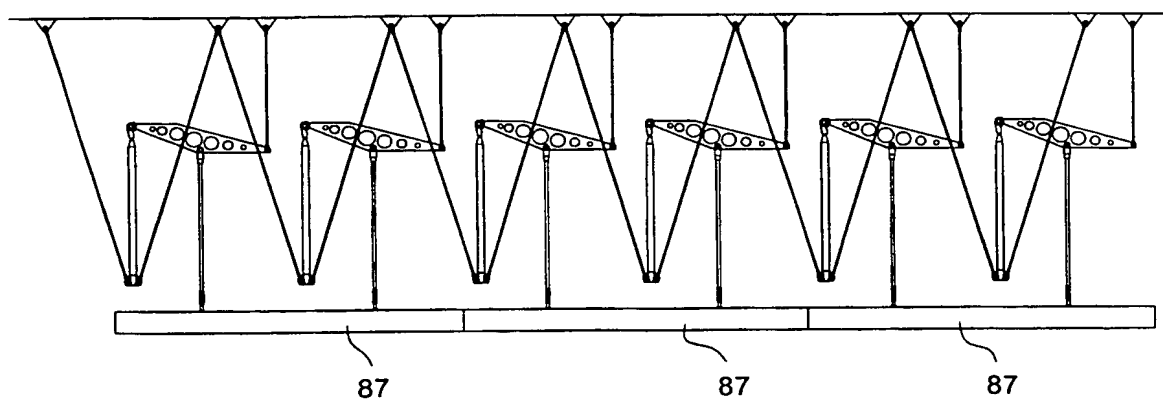
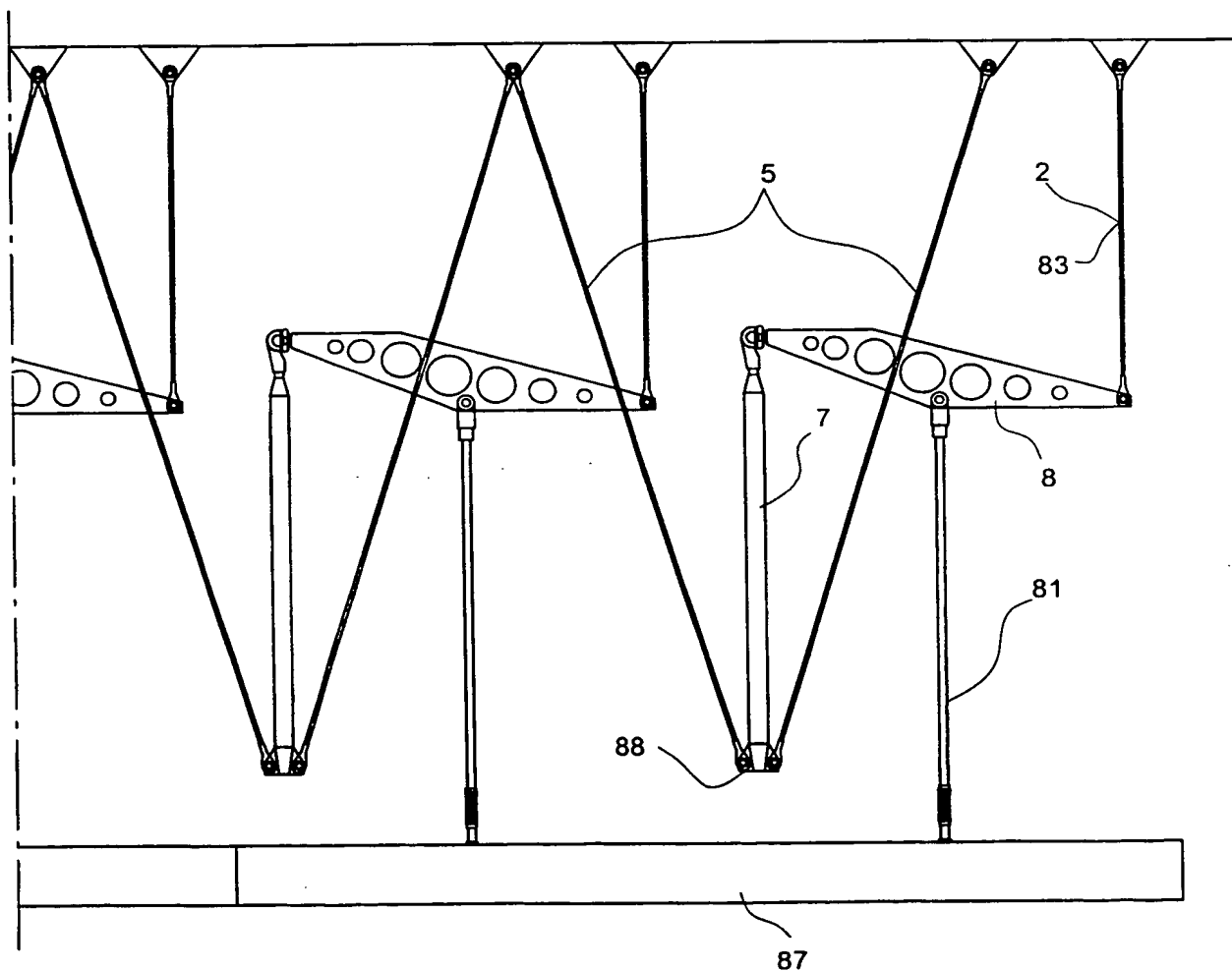


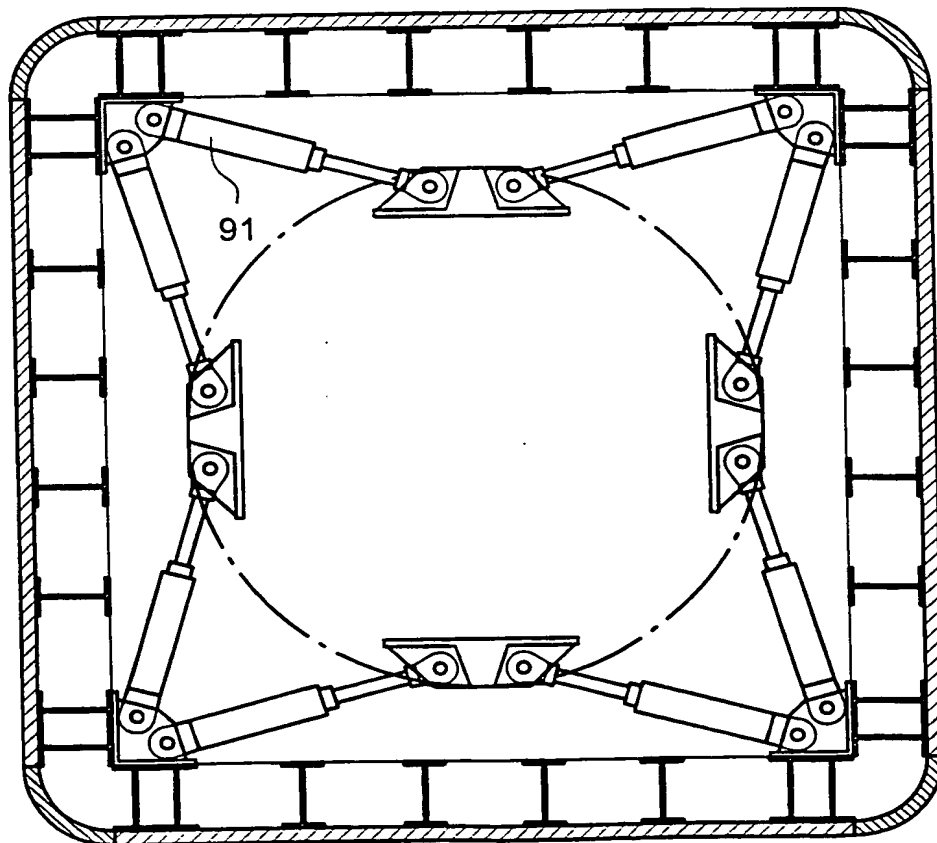
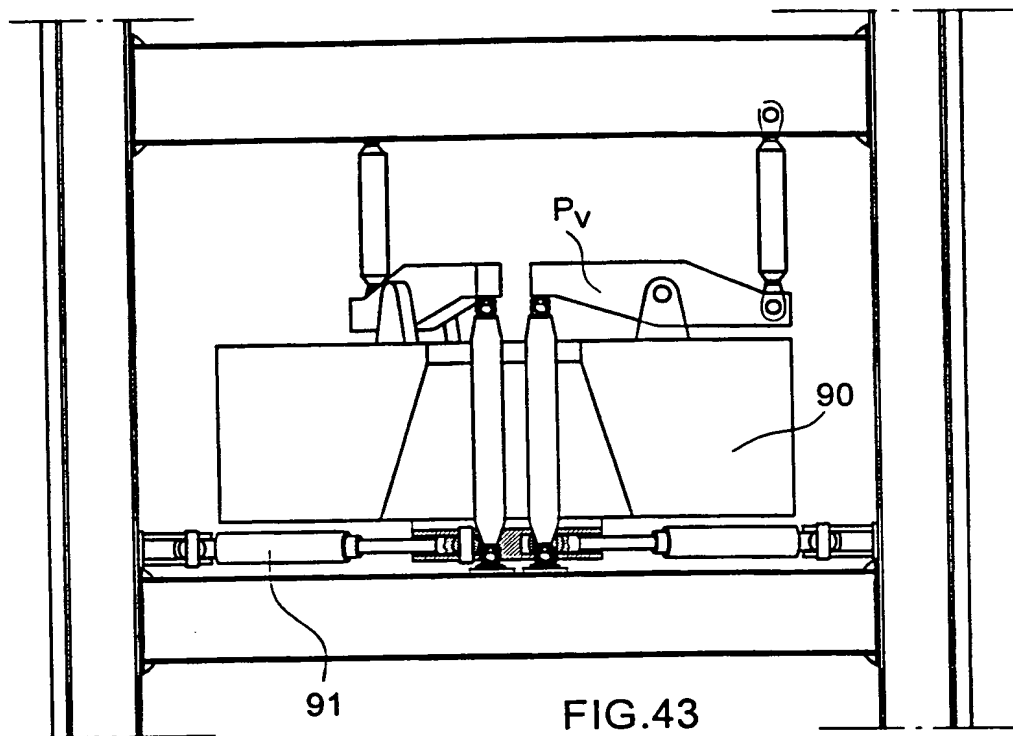
FIG. 42



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



42 170



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

43 /70

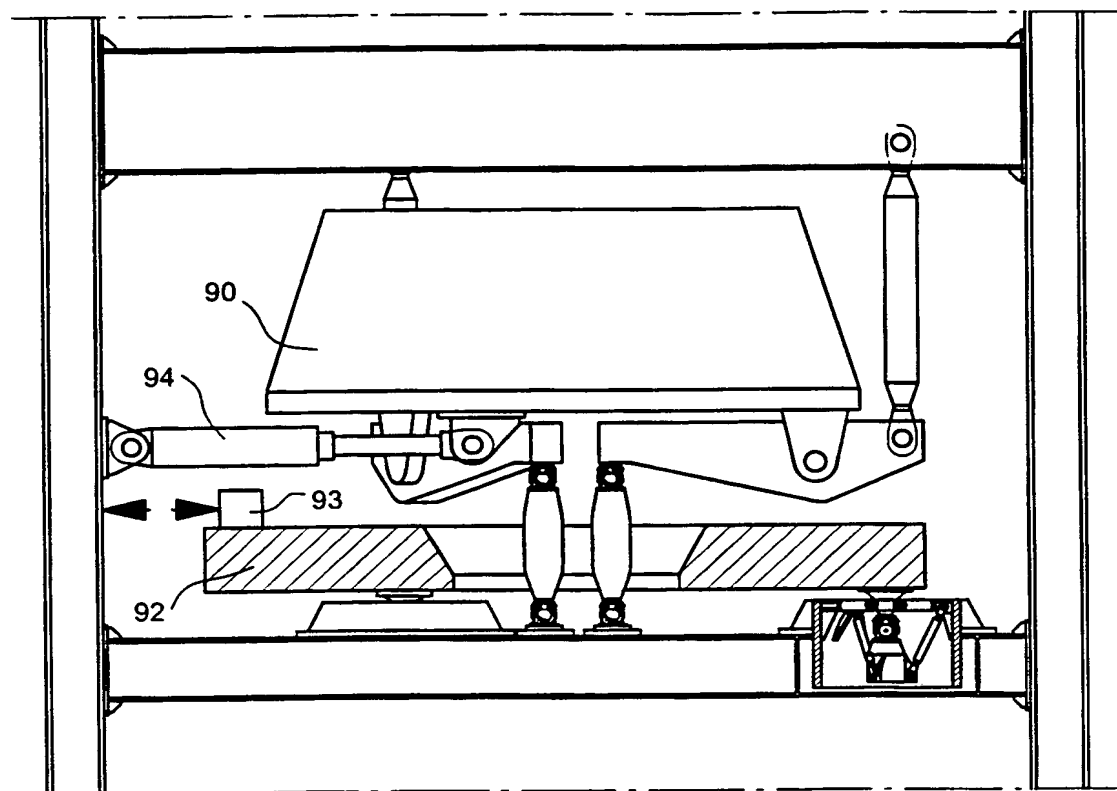
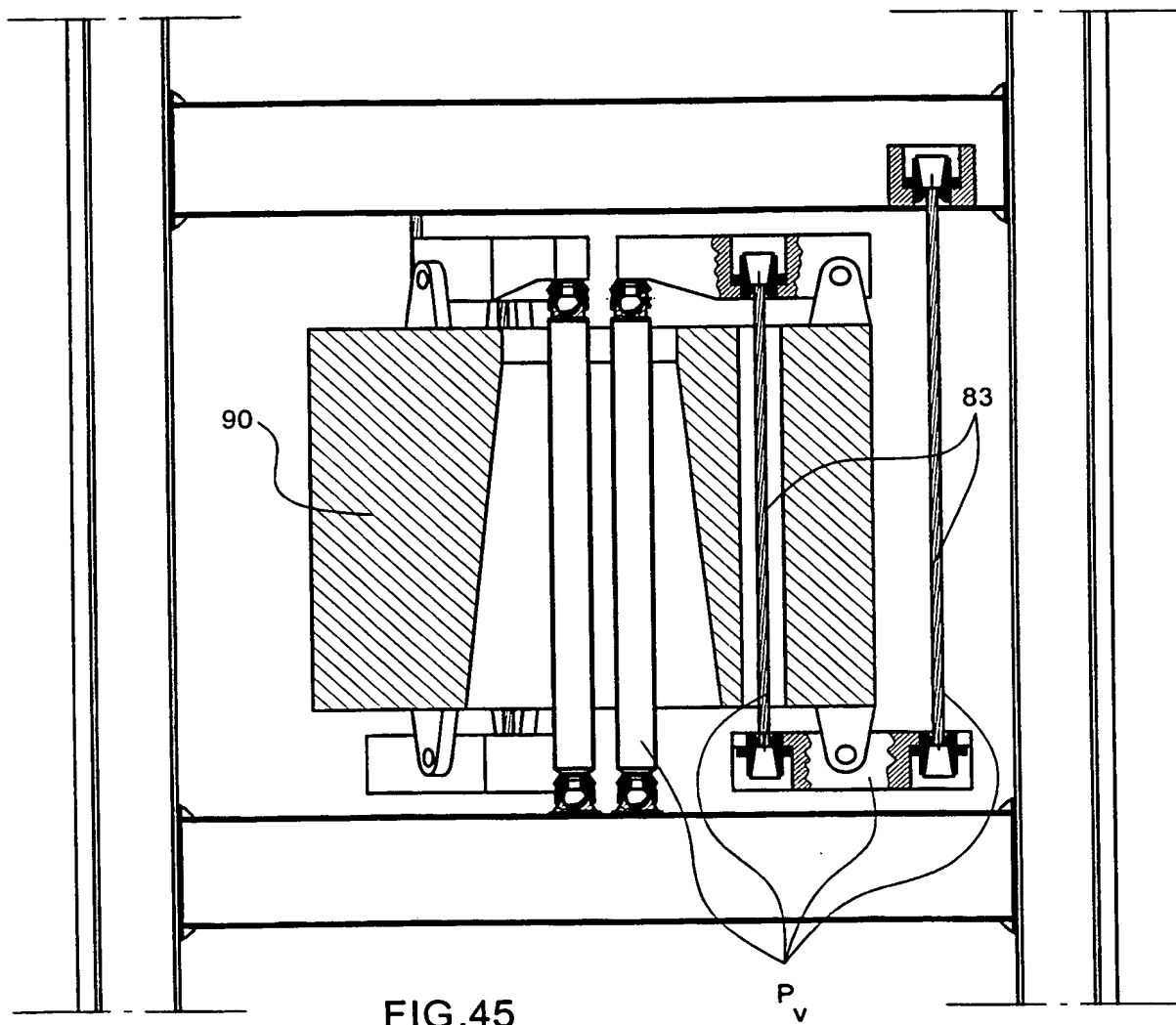


FIG.44

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

45 /70

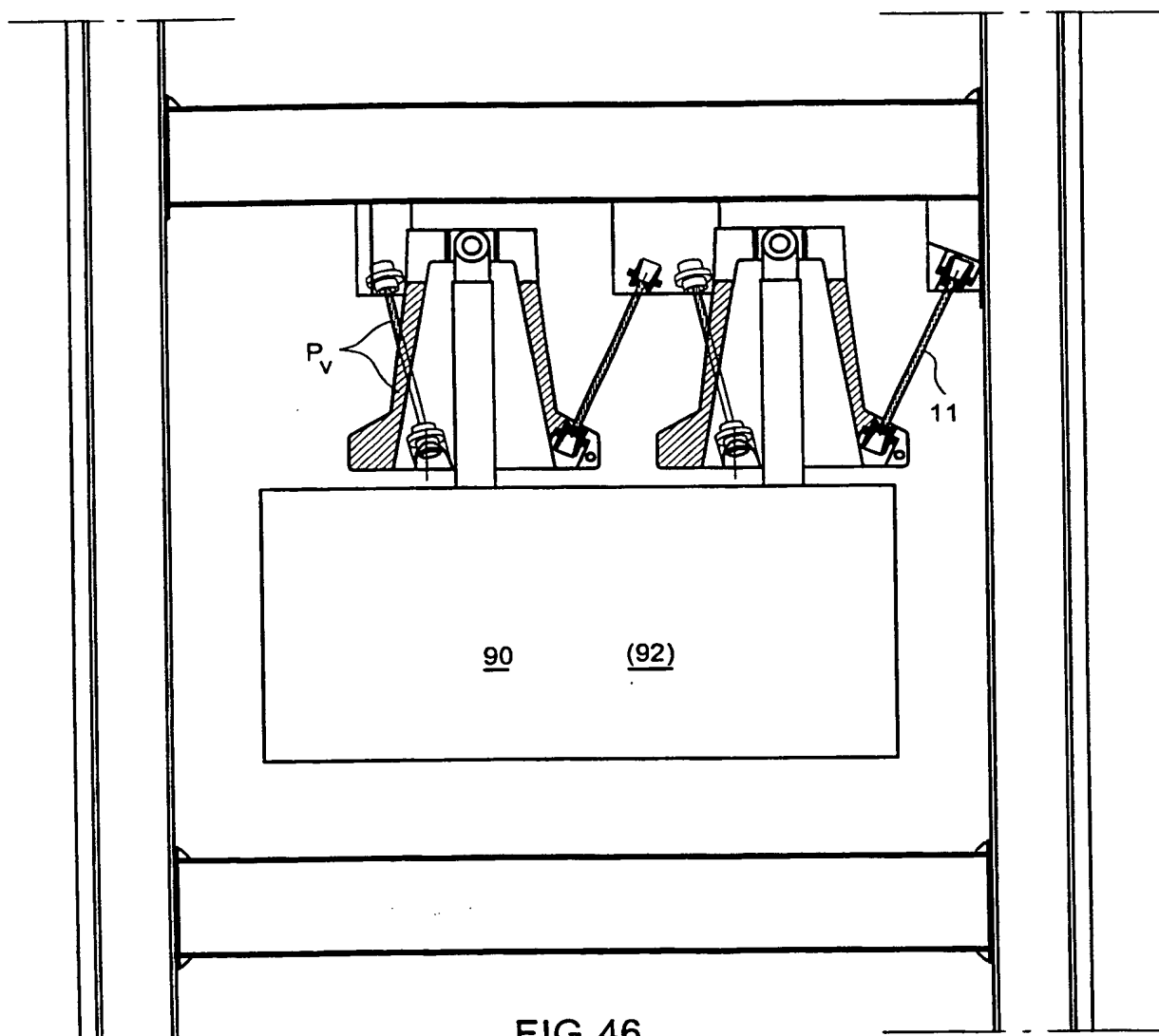


FIG.46

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



46 / 70

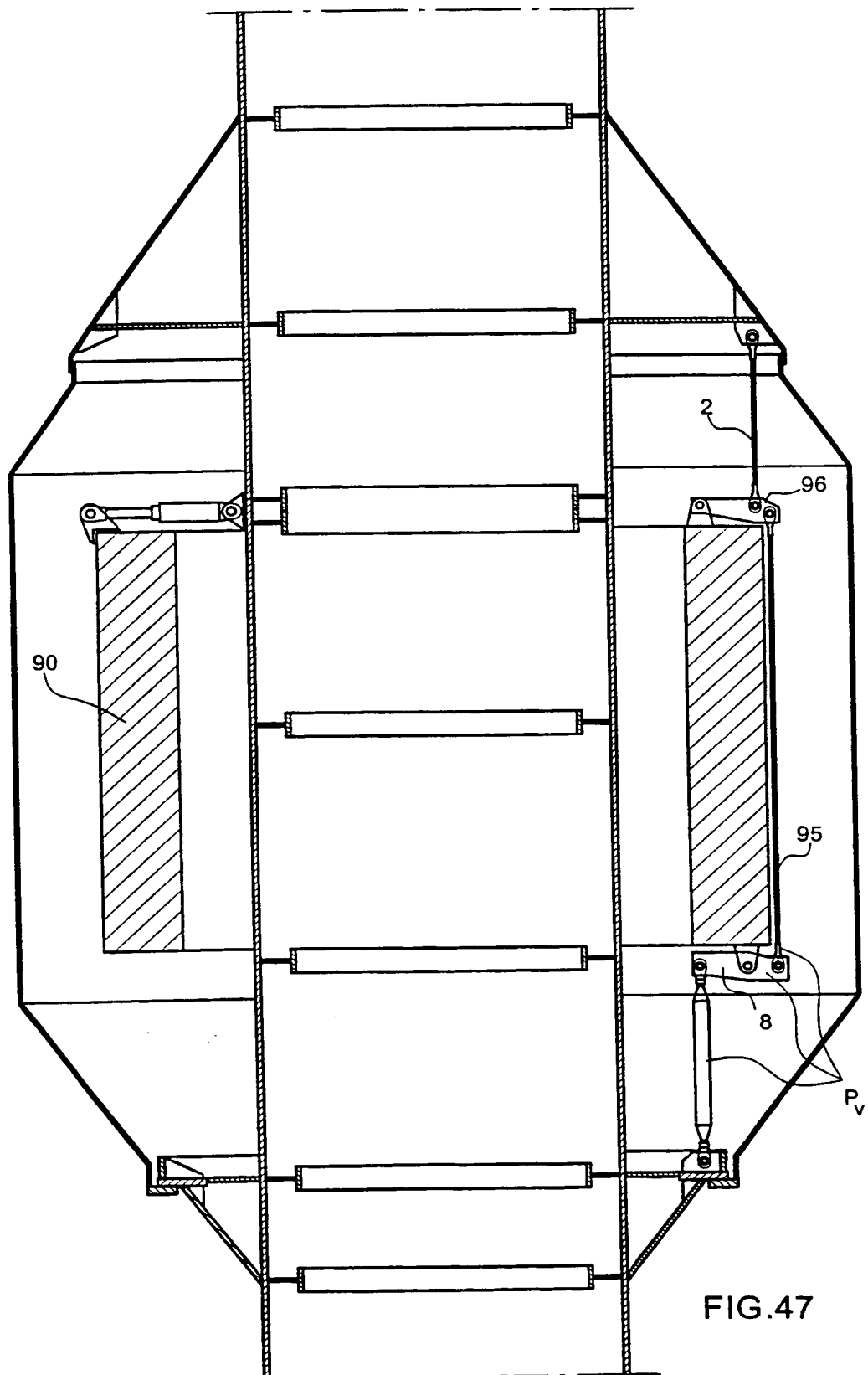


FIG. 47

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

47 /70

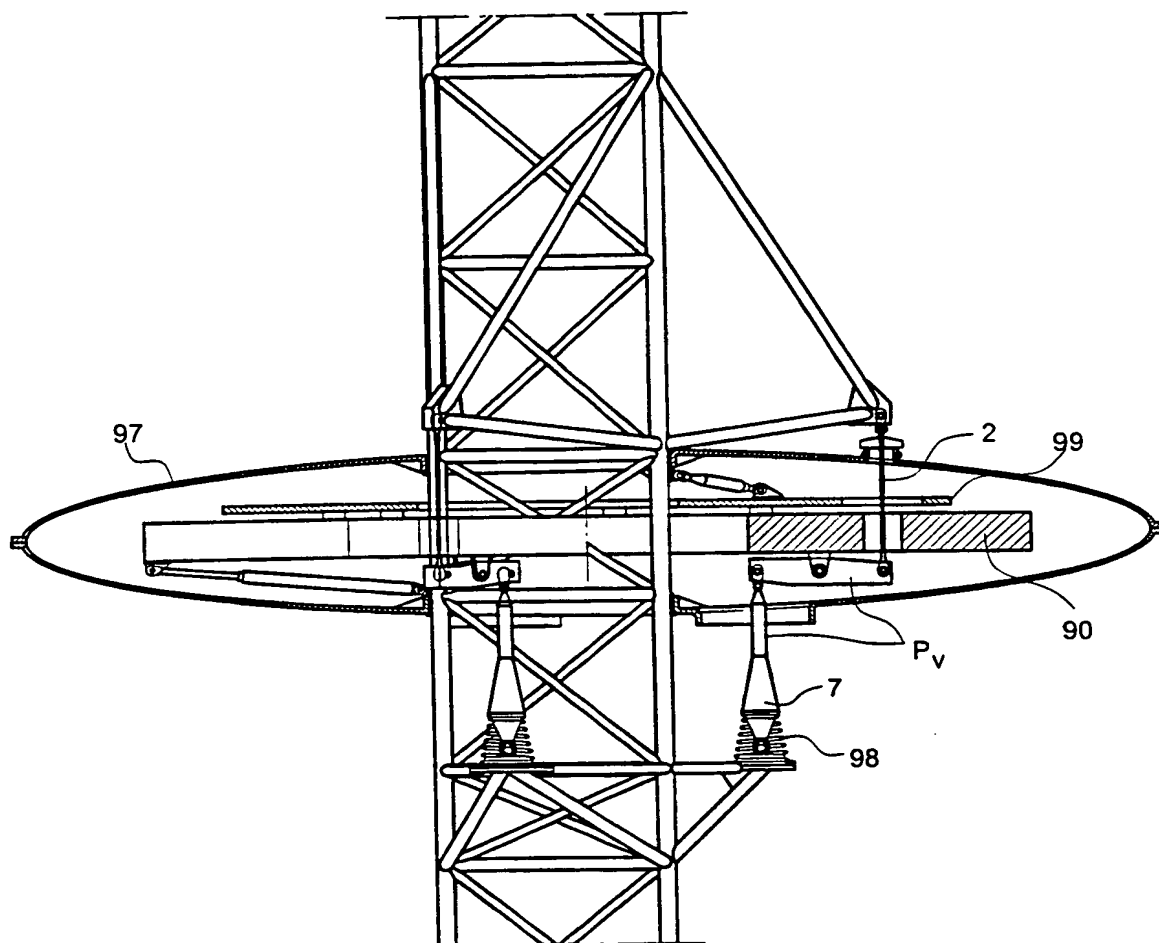
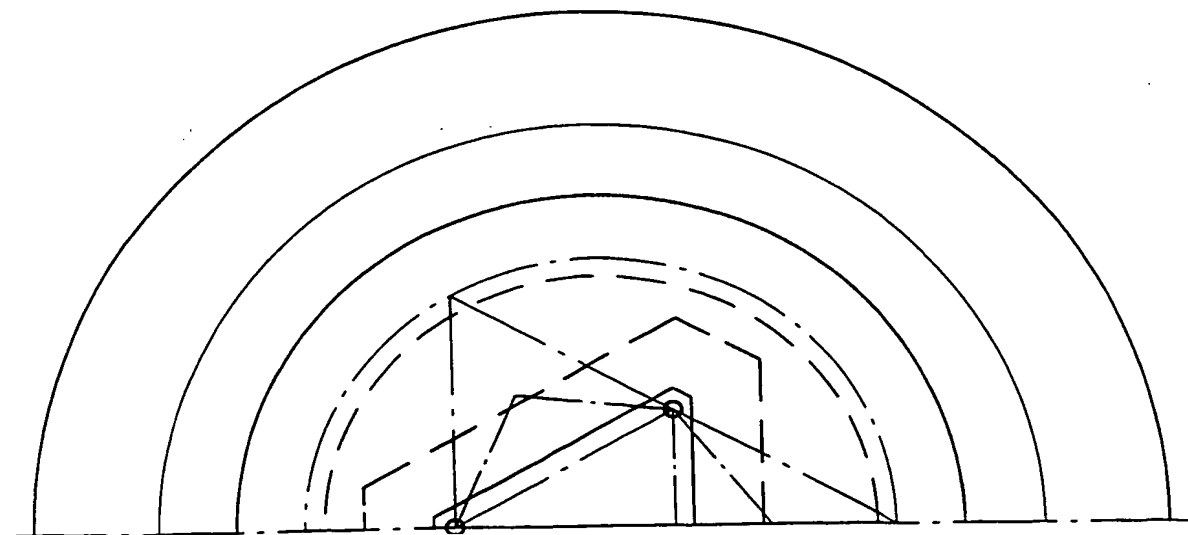


FIG. 48



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

48 / 70

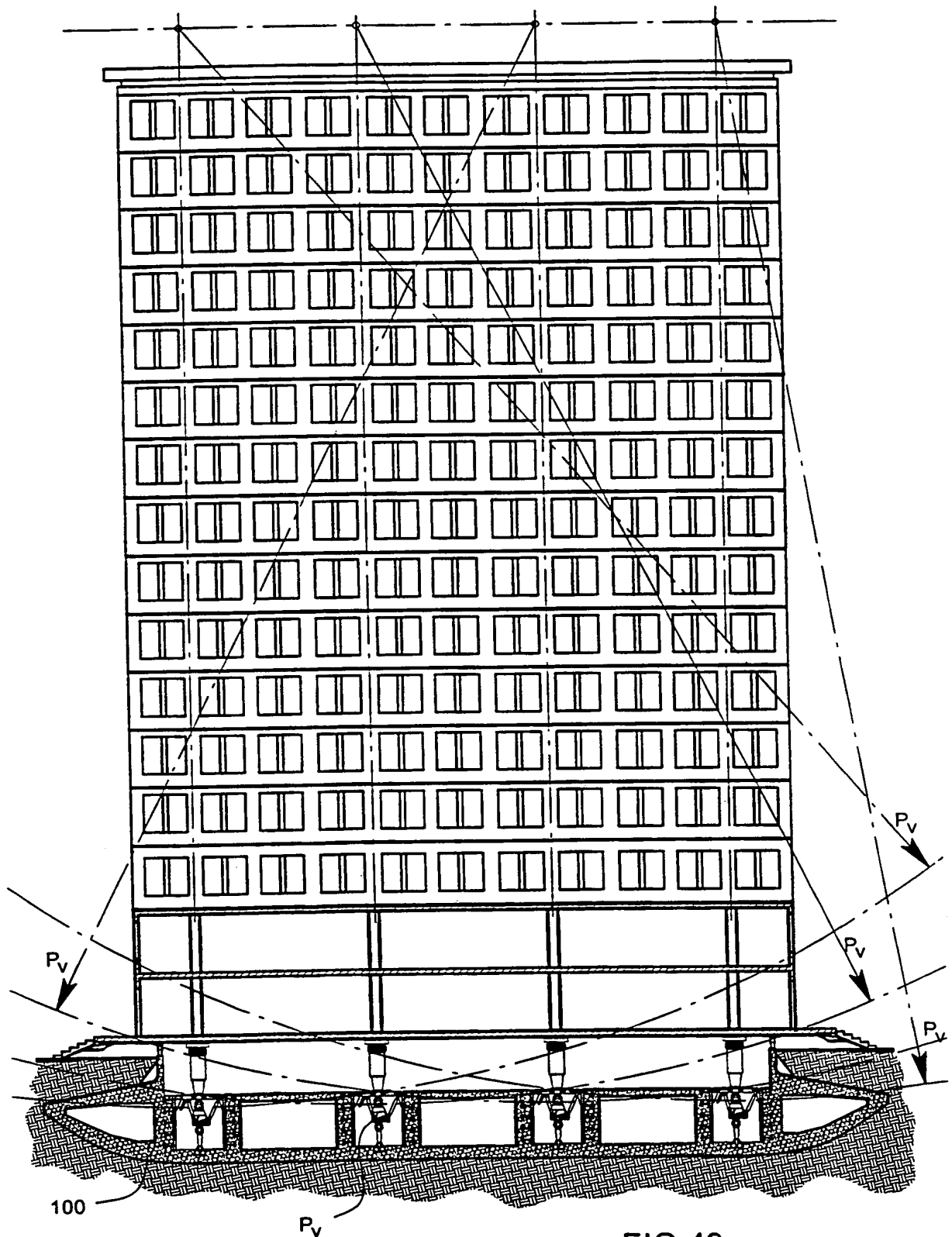
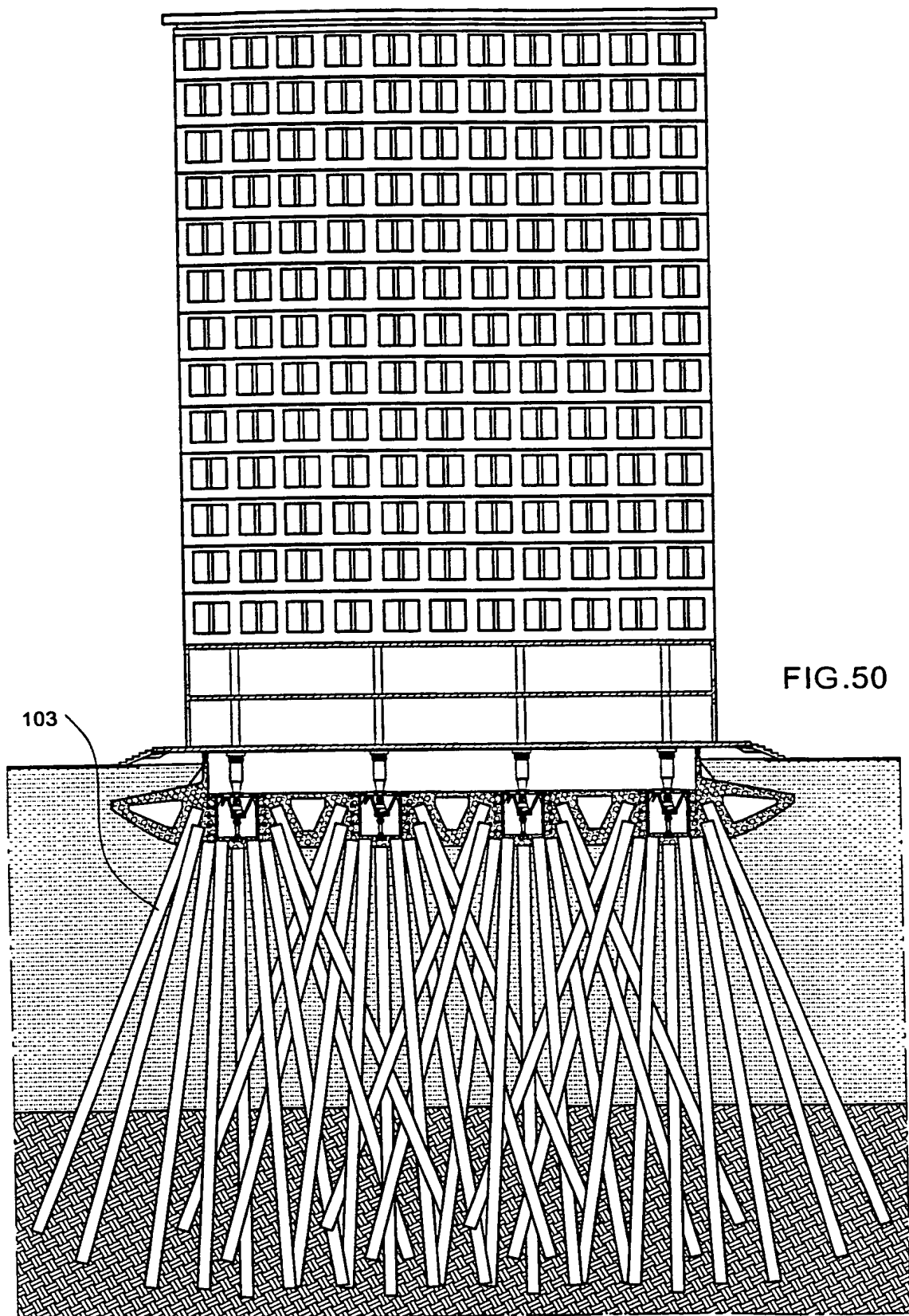


FIG. 49

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

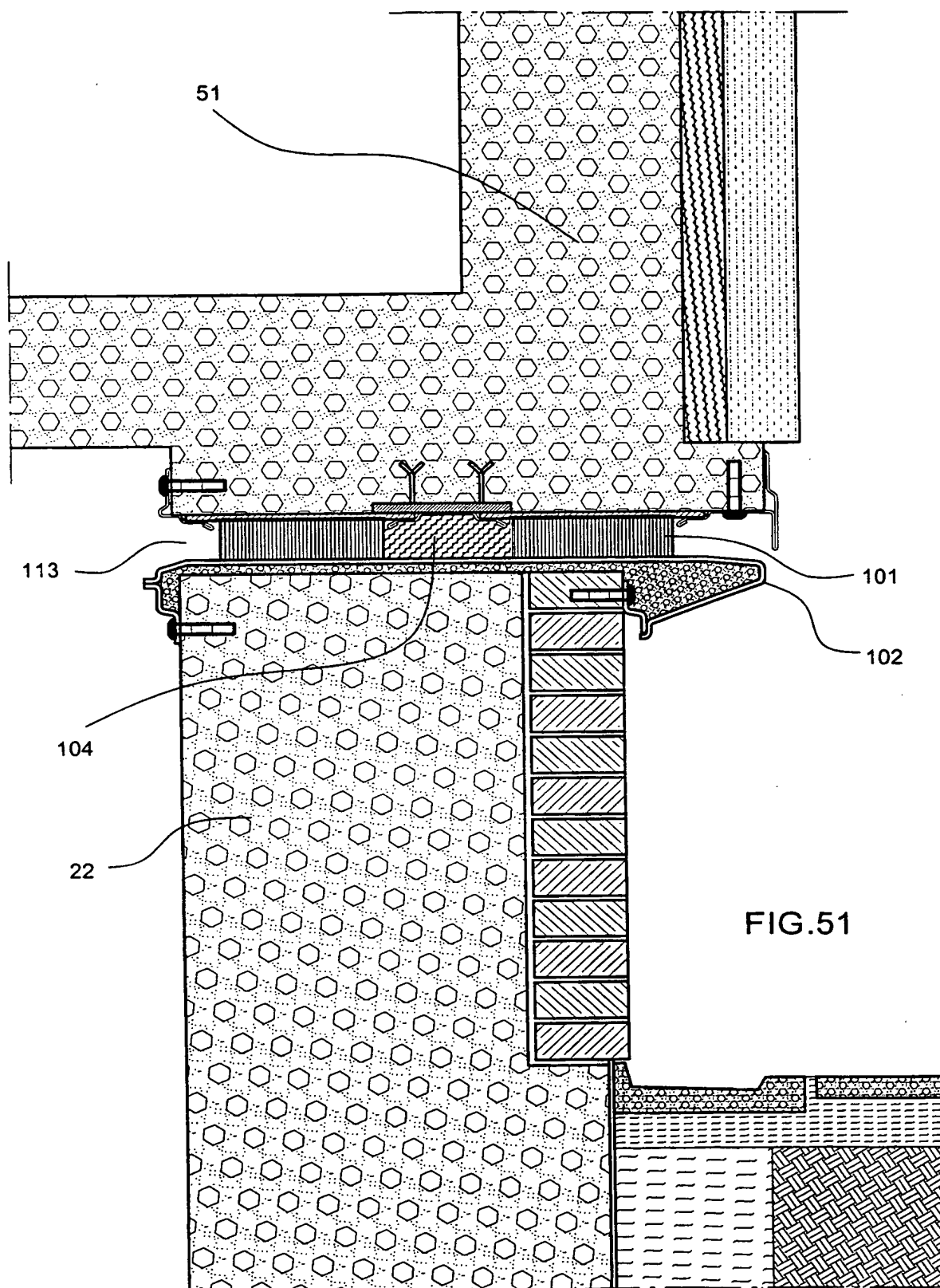
49 /70



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



50 / 70



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

51 /70

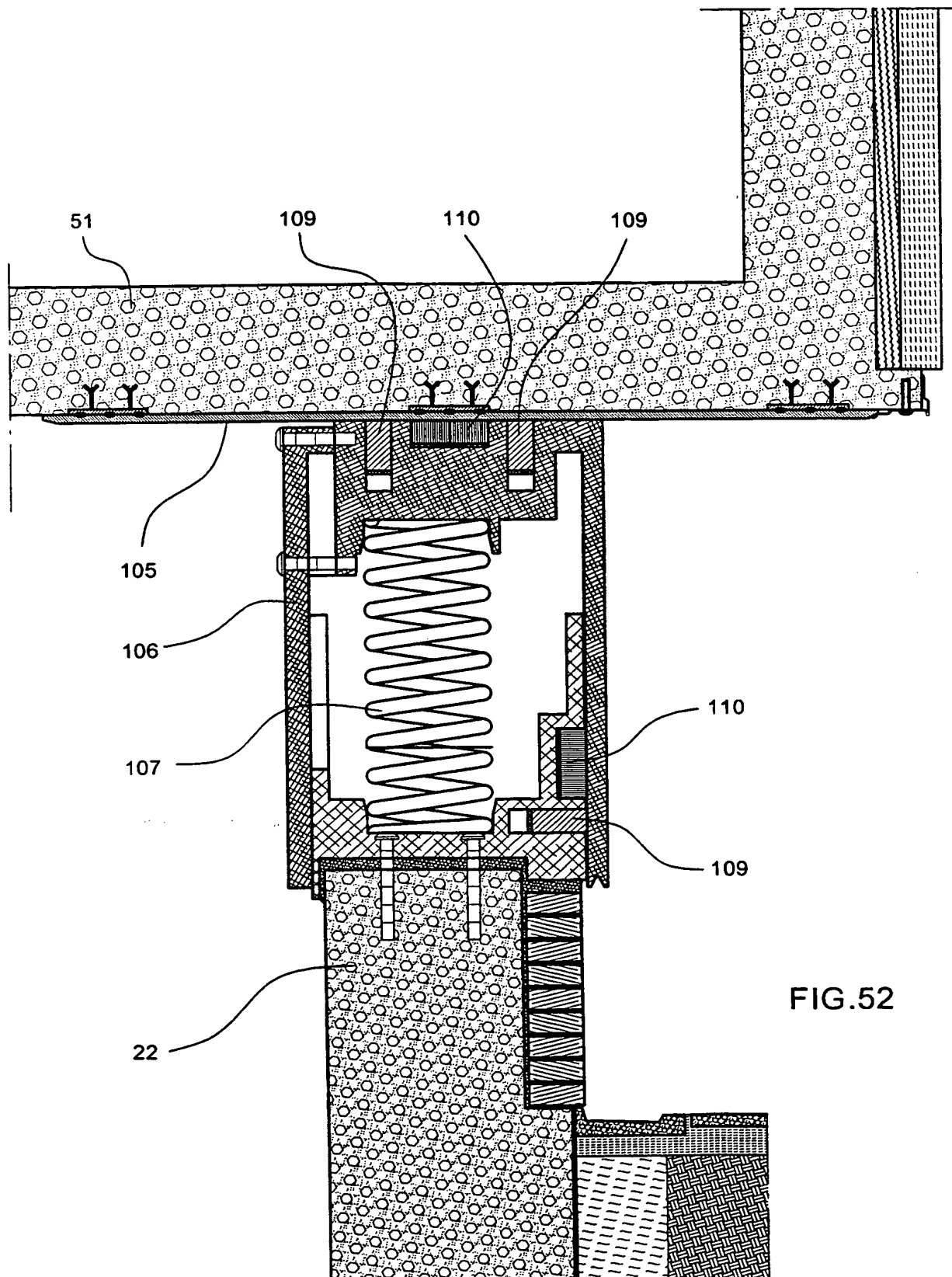


FIG. 52

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

52 / 70

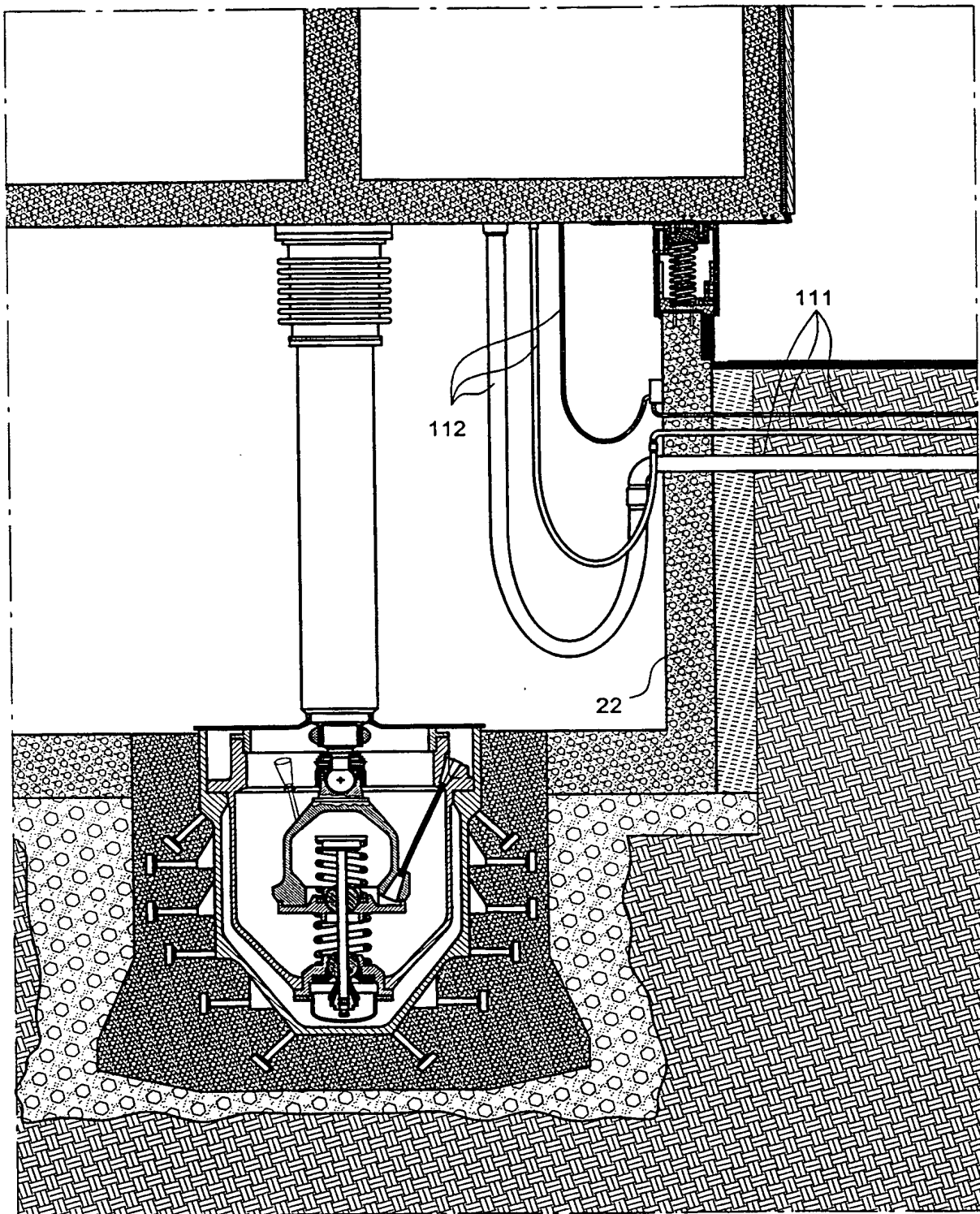


FIG. 53

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

53 /70

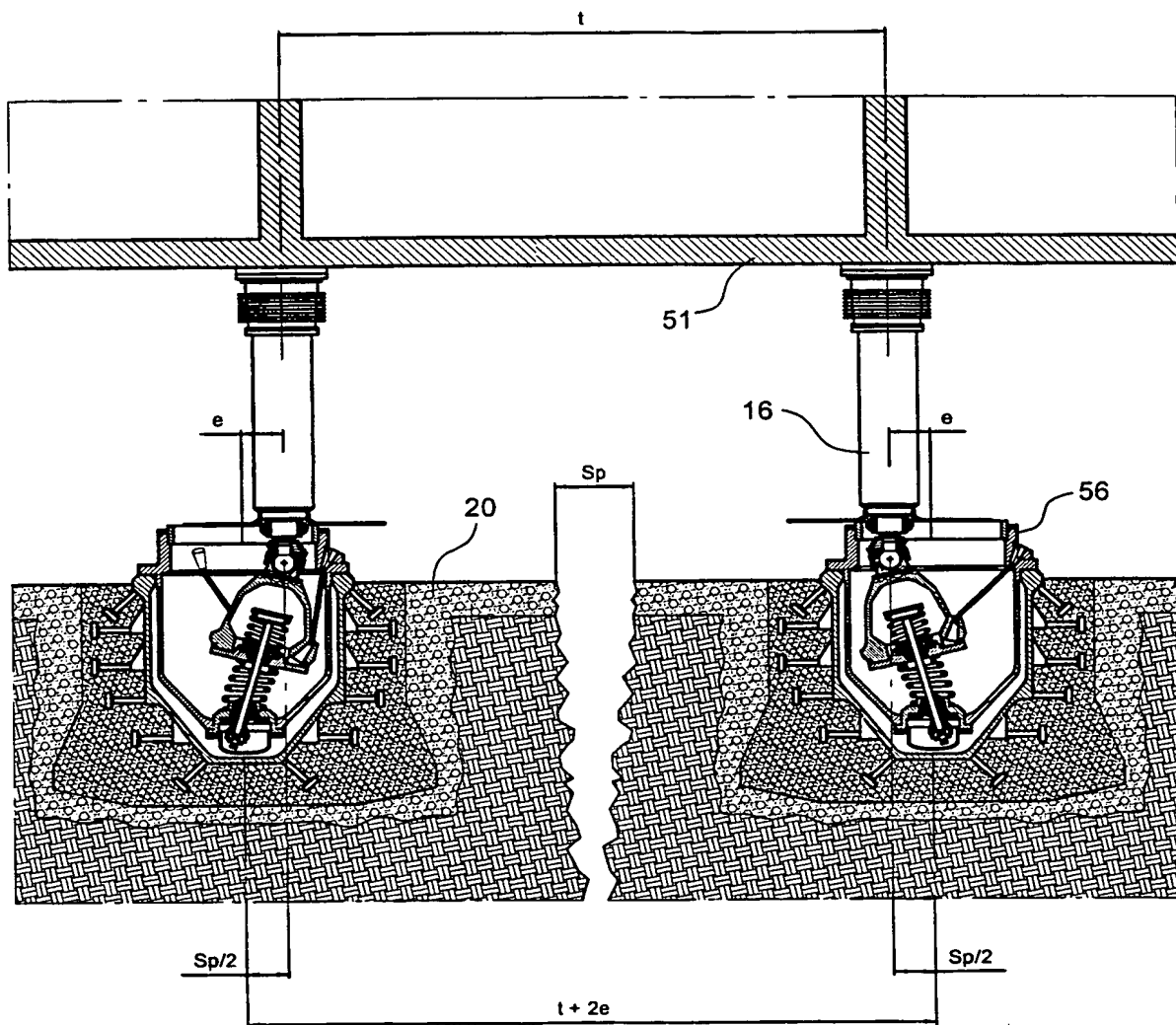


FIG.54

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



54 /70

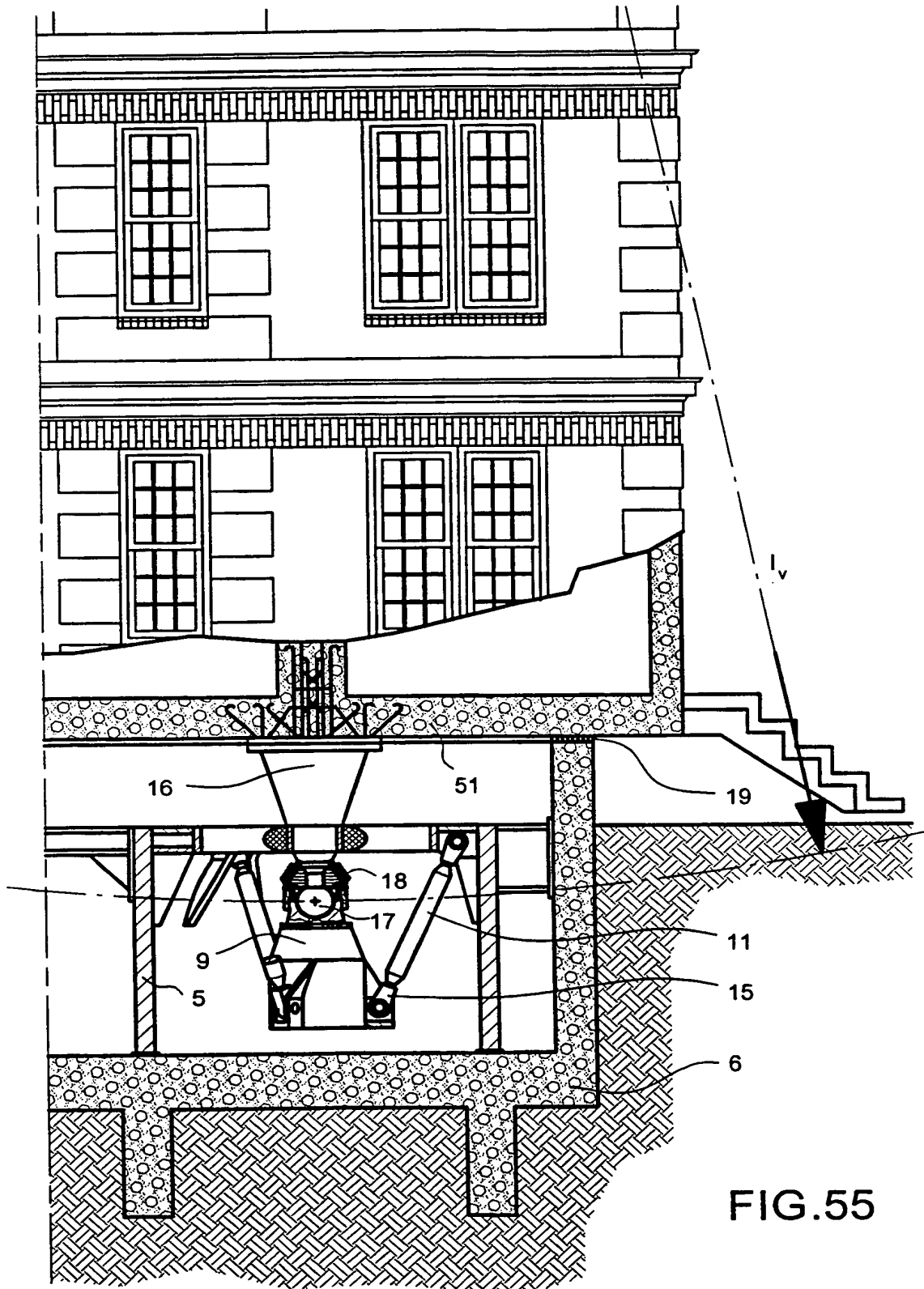
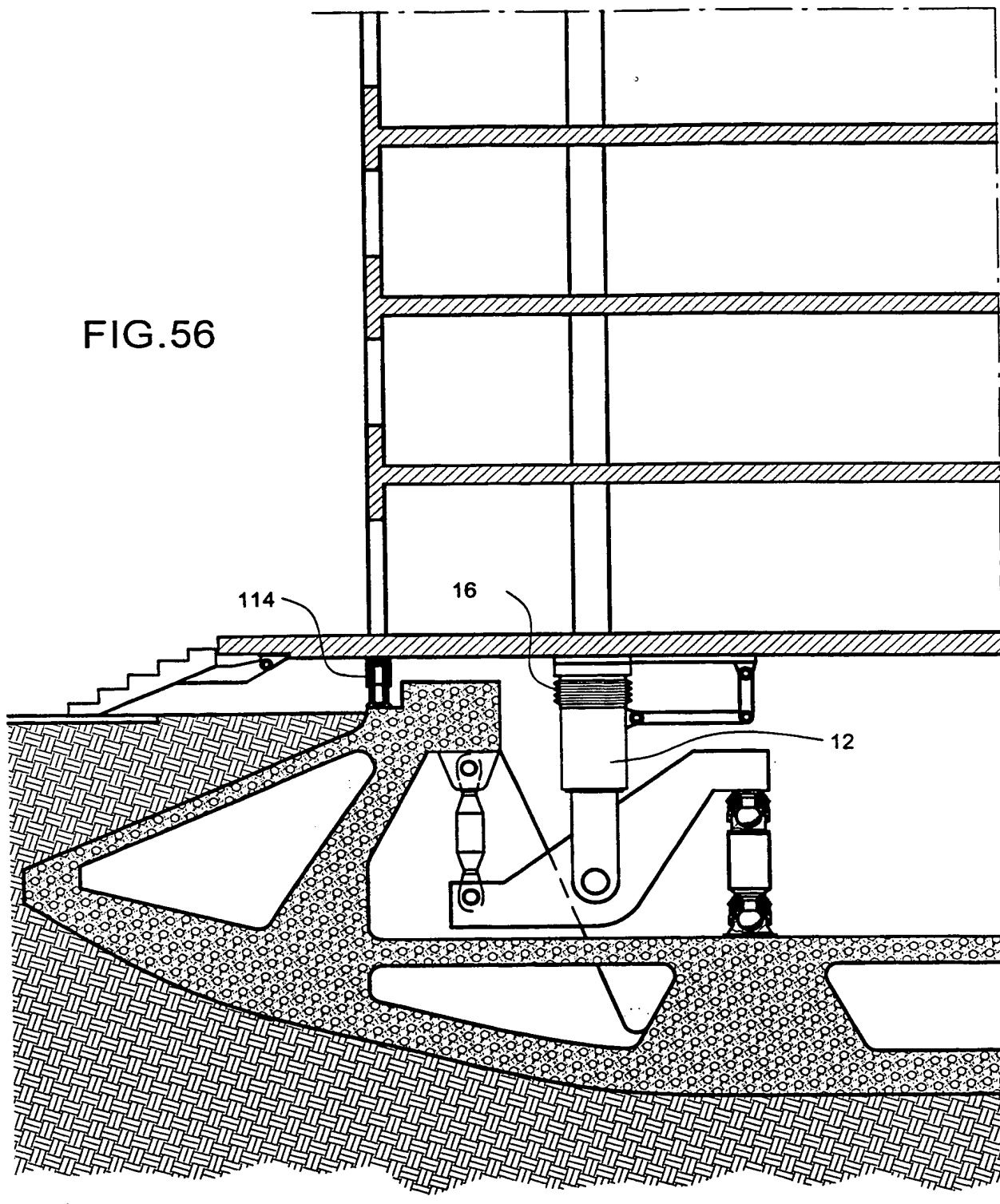


FIG. 55

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

55 / 70

FIG.56



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

56 /70

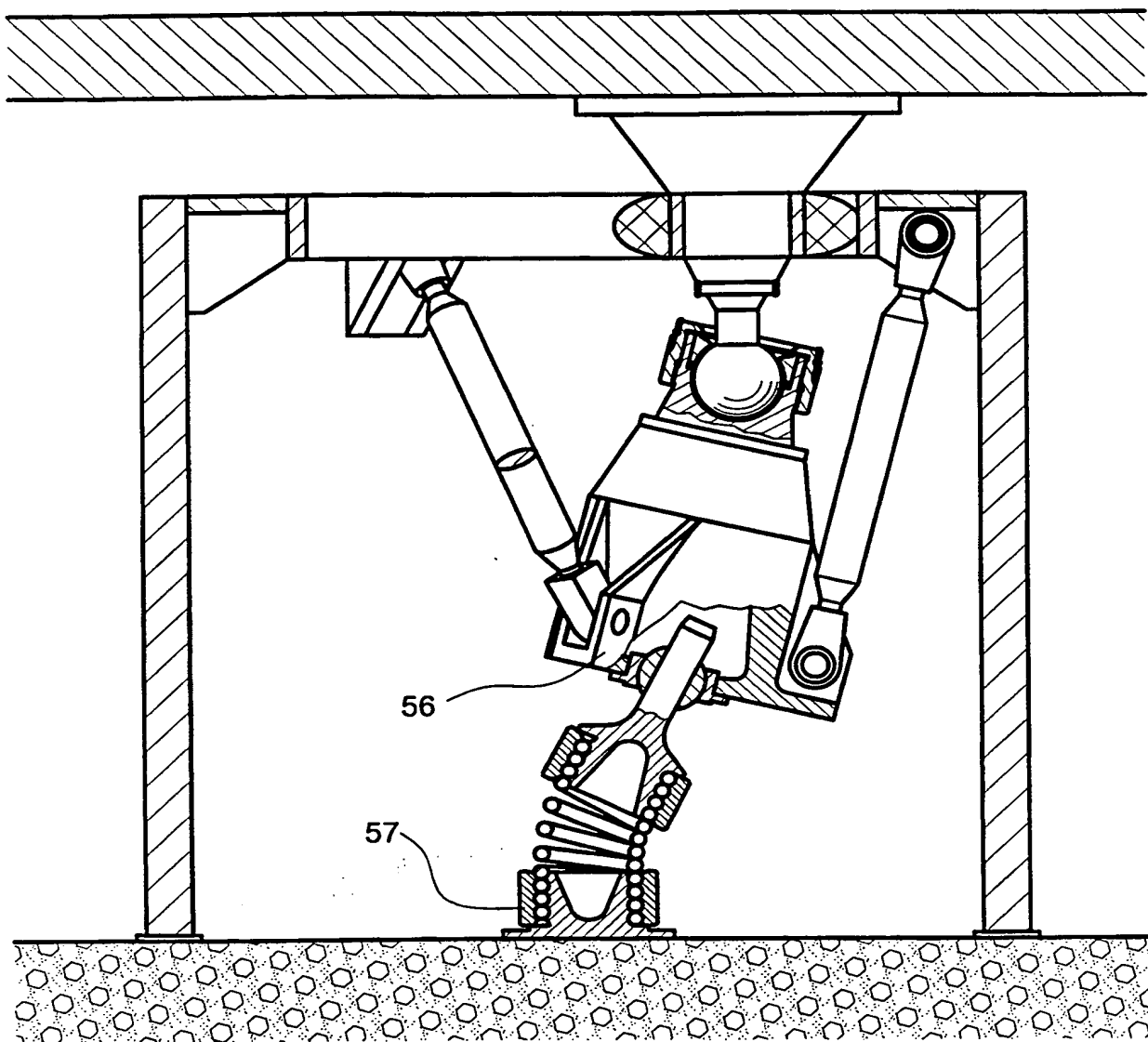


FIG.57

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

57 /70

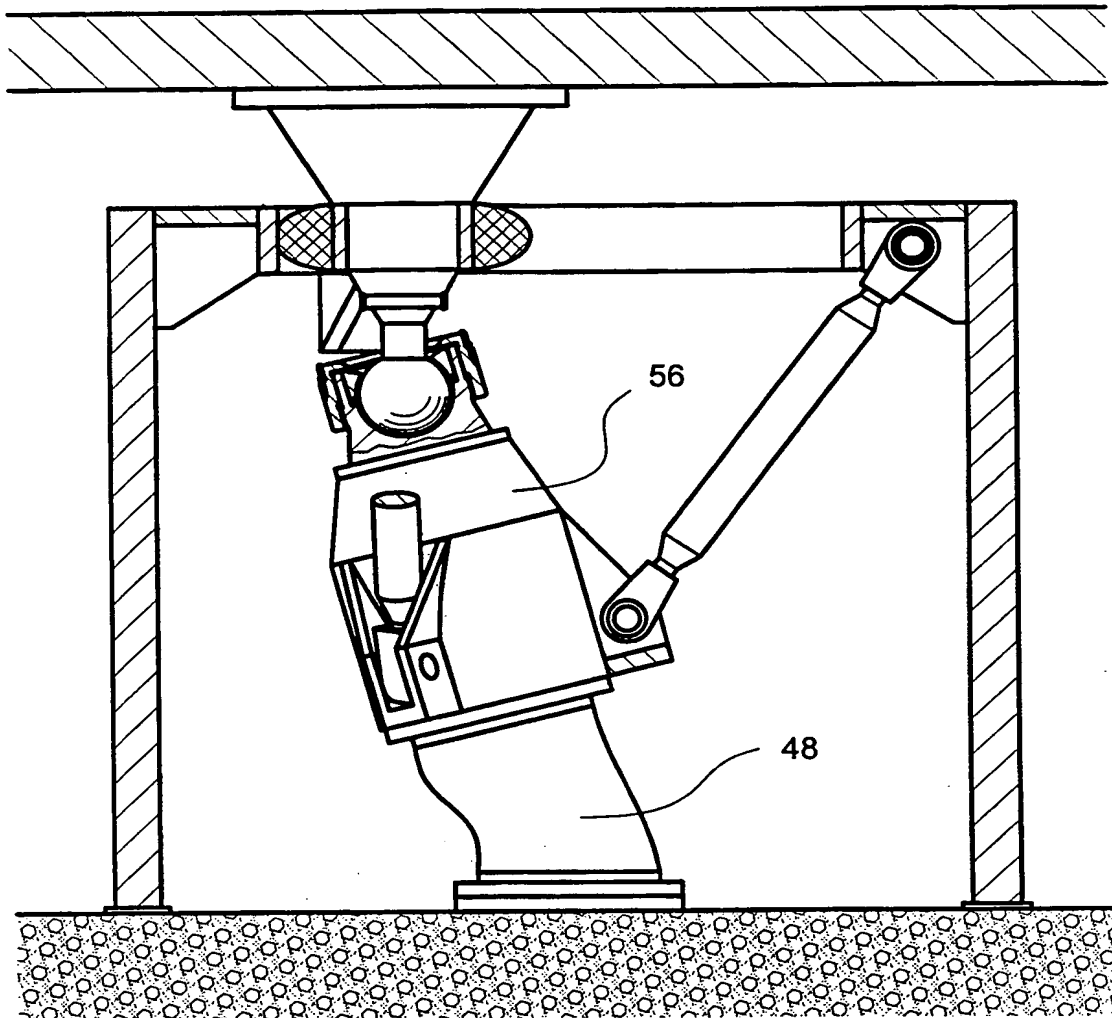
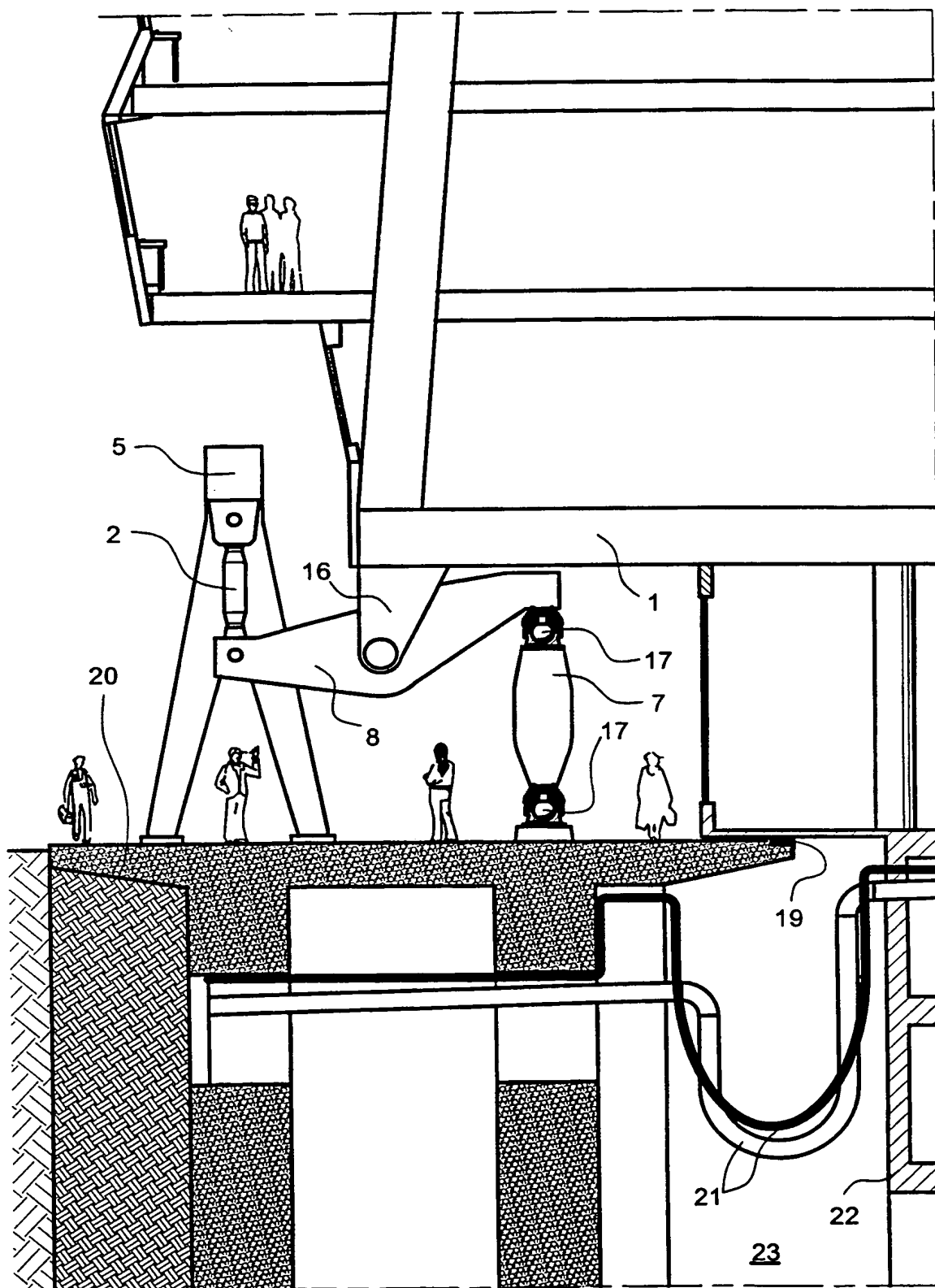


FIG.58

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



58 /70



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

59 / 70

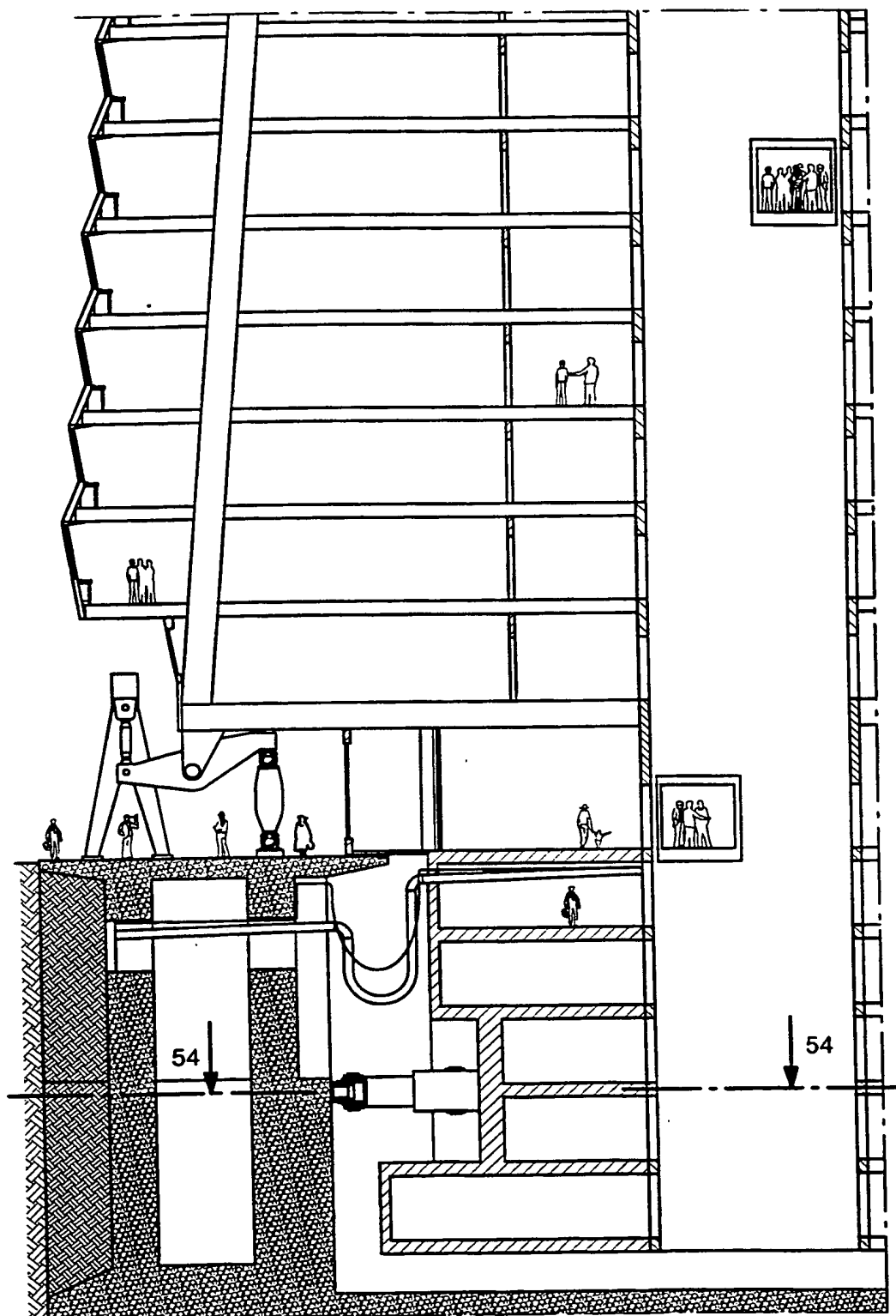


FIG.60

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

60 / 70

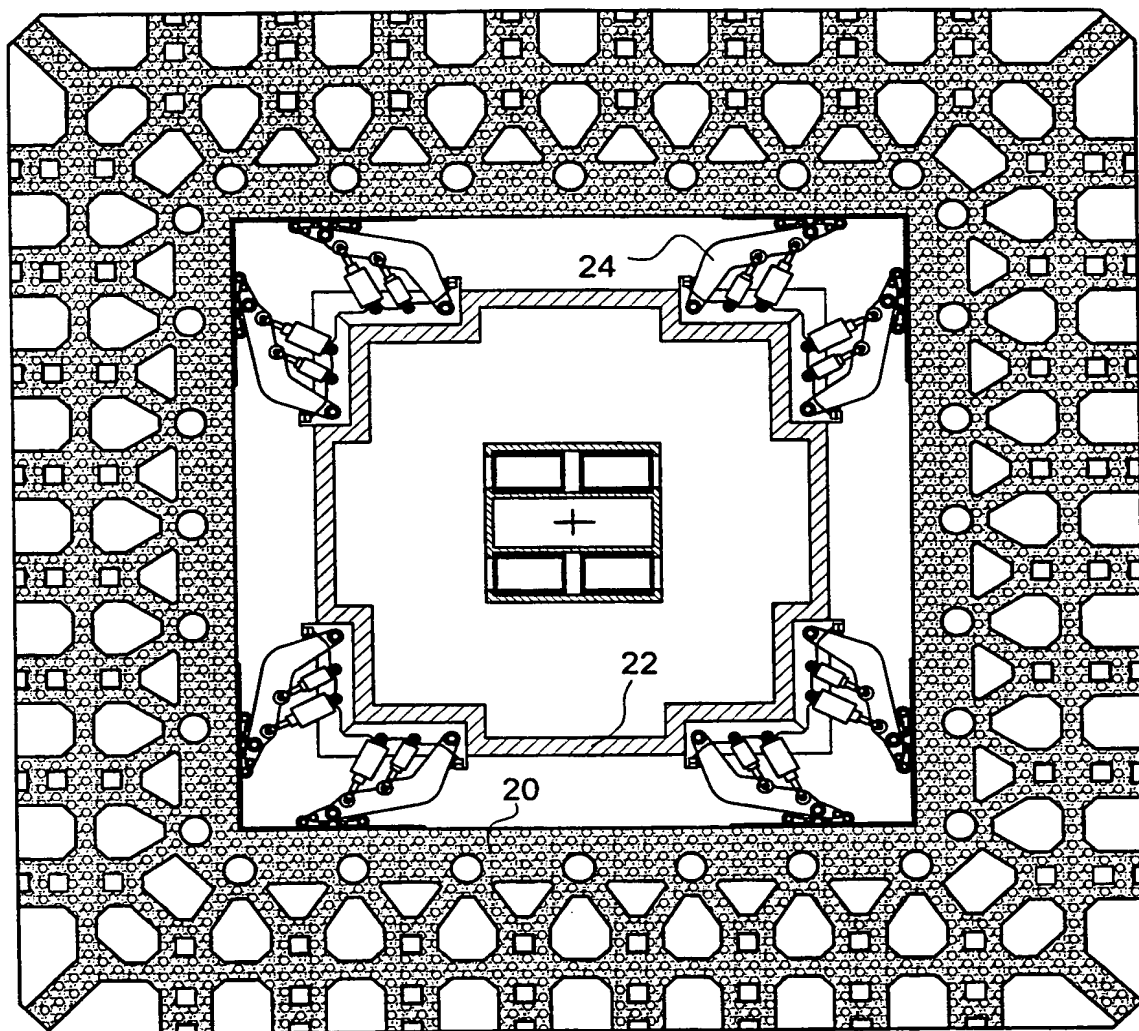
6

FIG. 61

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

61 /70

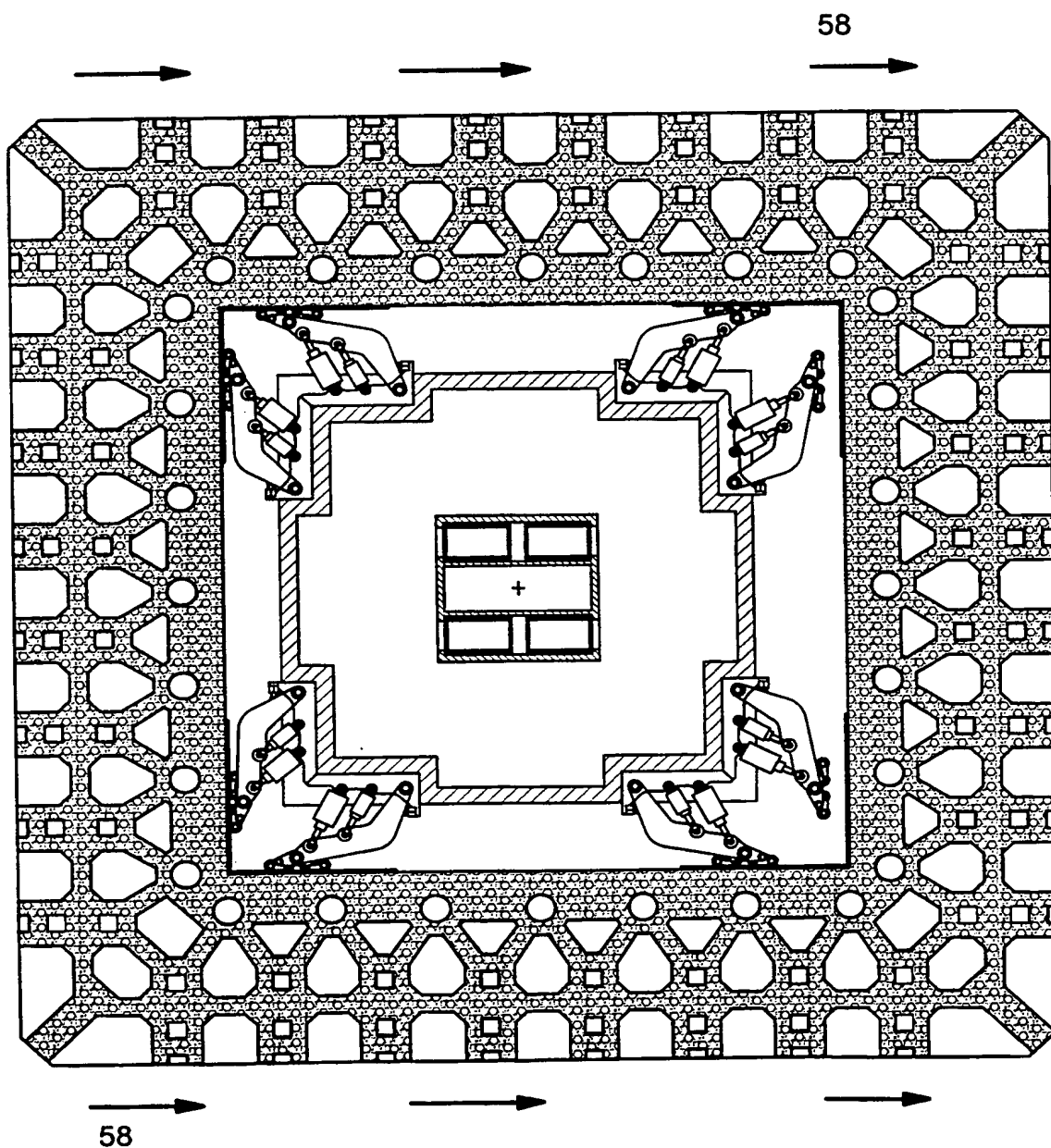


FIG.62

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



62 / 70

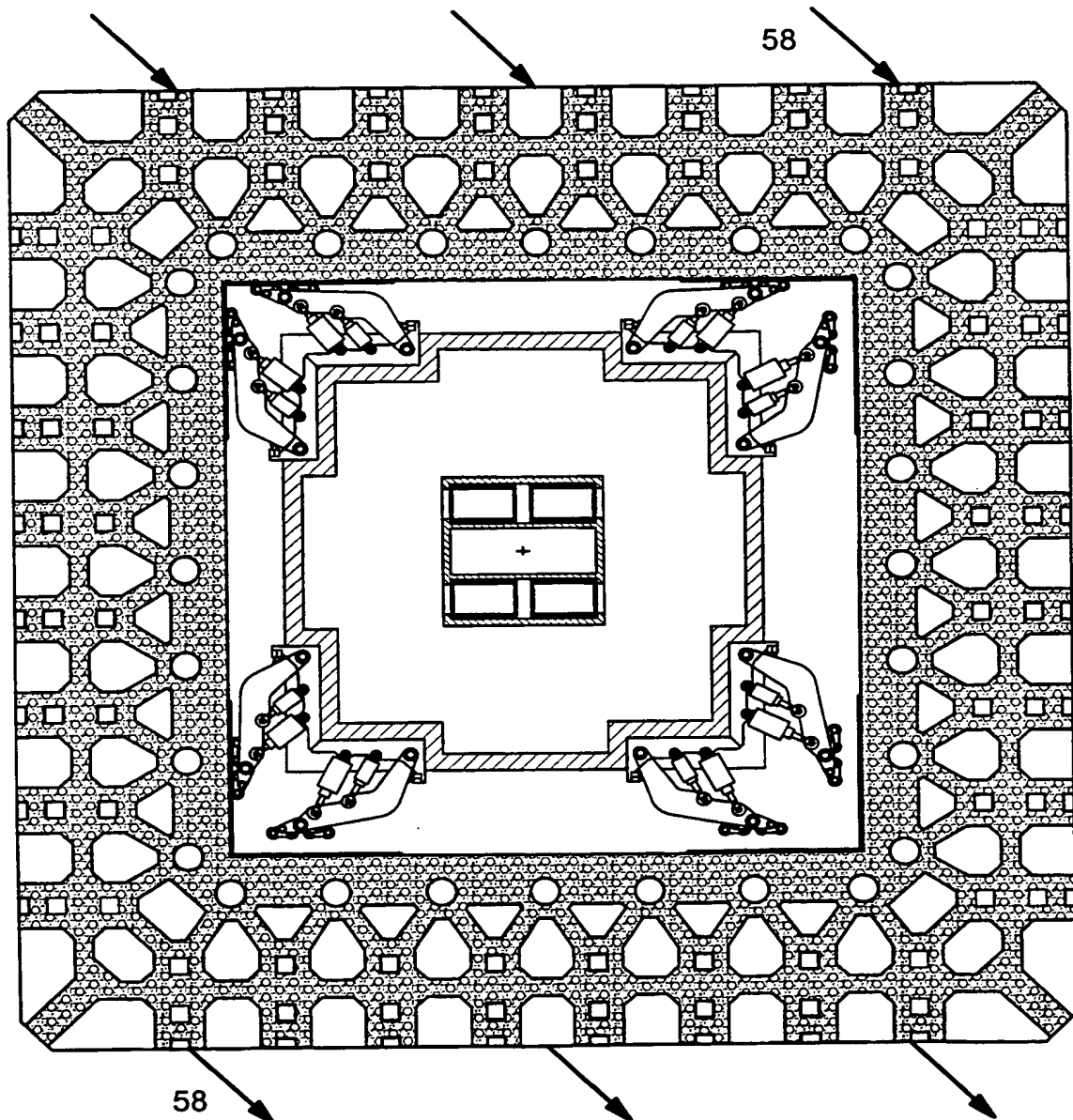
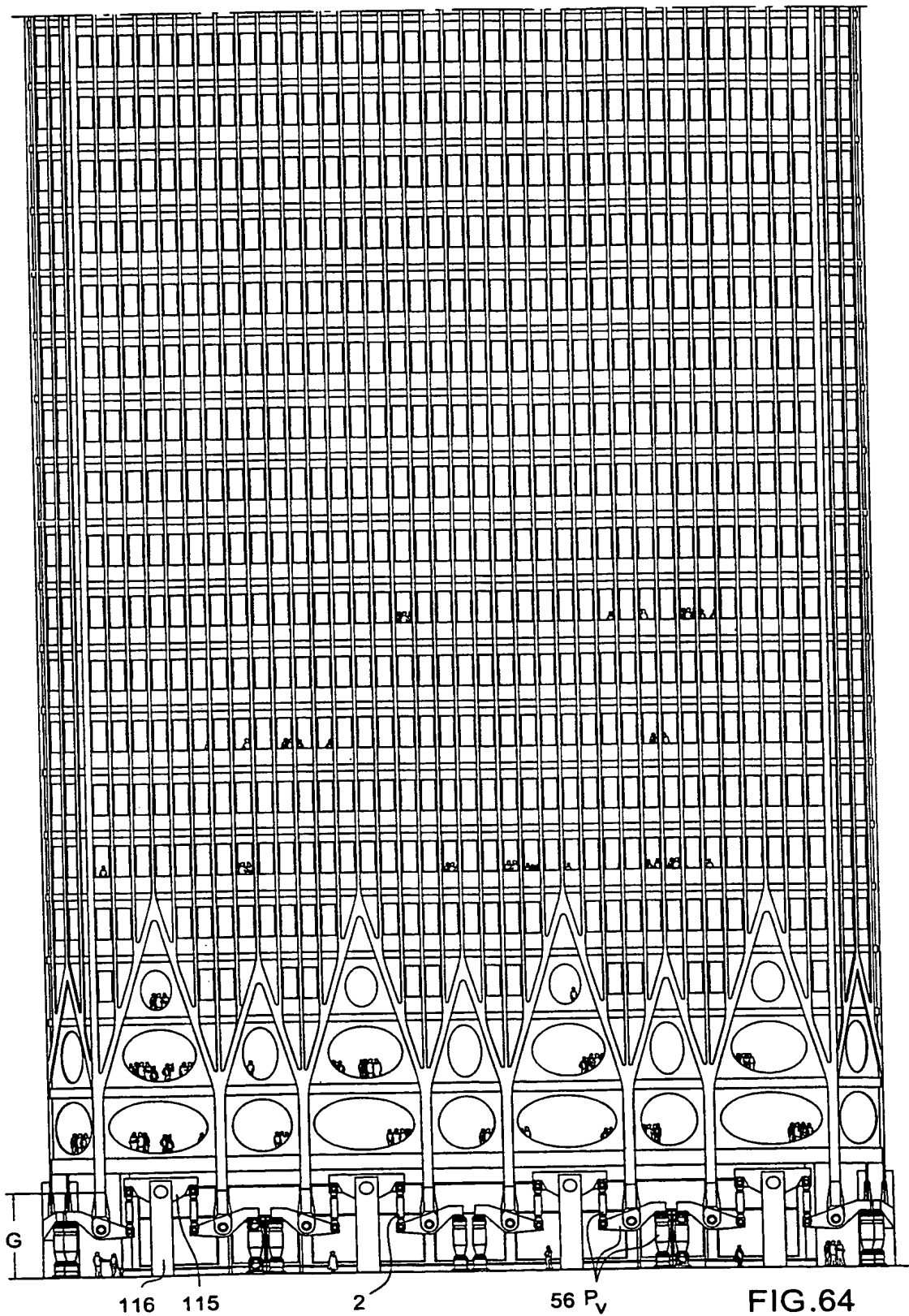


FIG. 63

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

63 /70



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

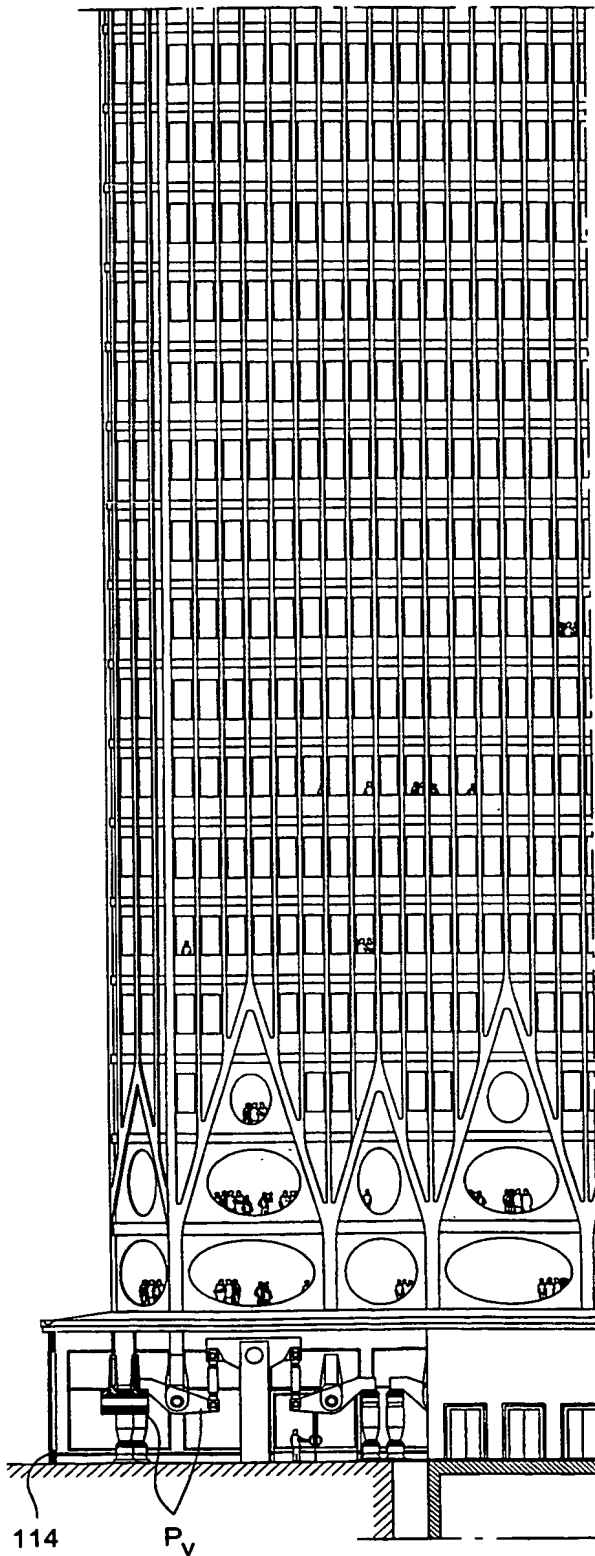


FIG. 64b

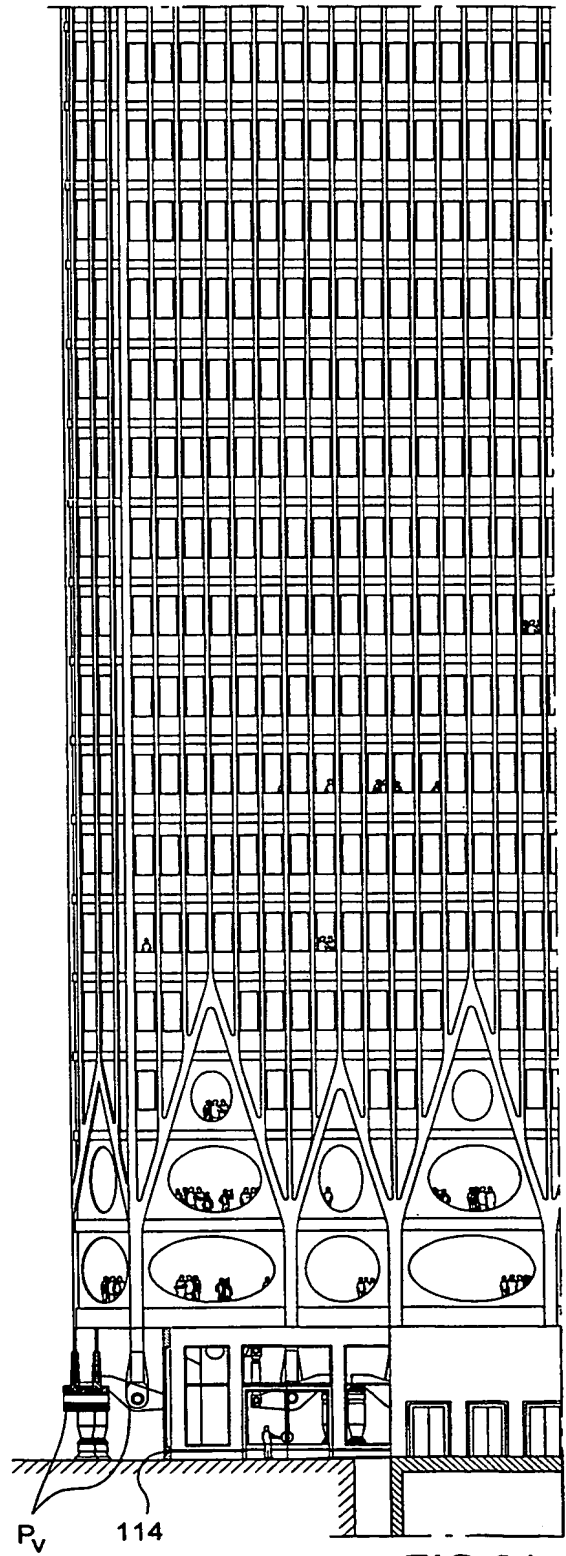


FIG. 64a

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

65 / 70

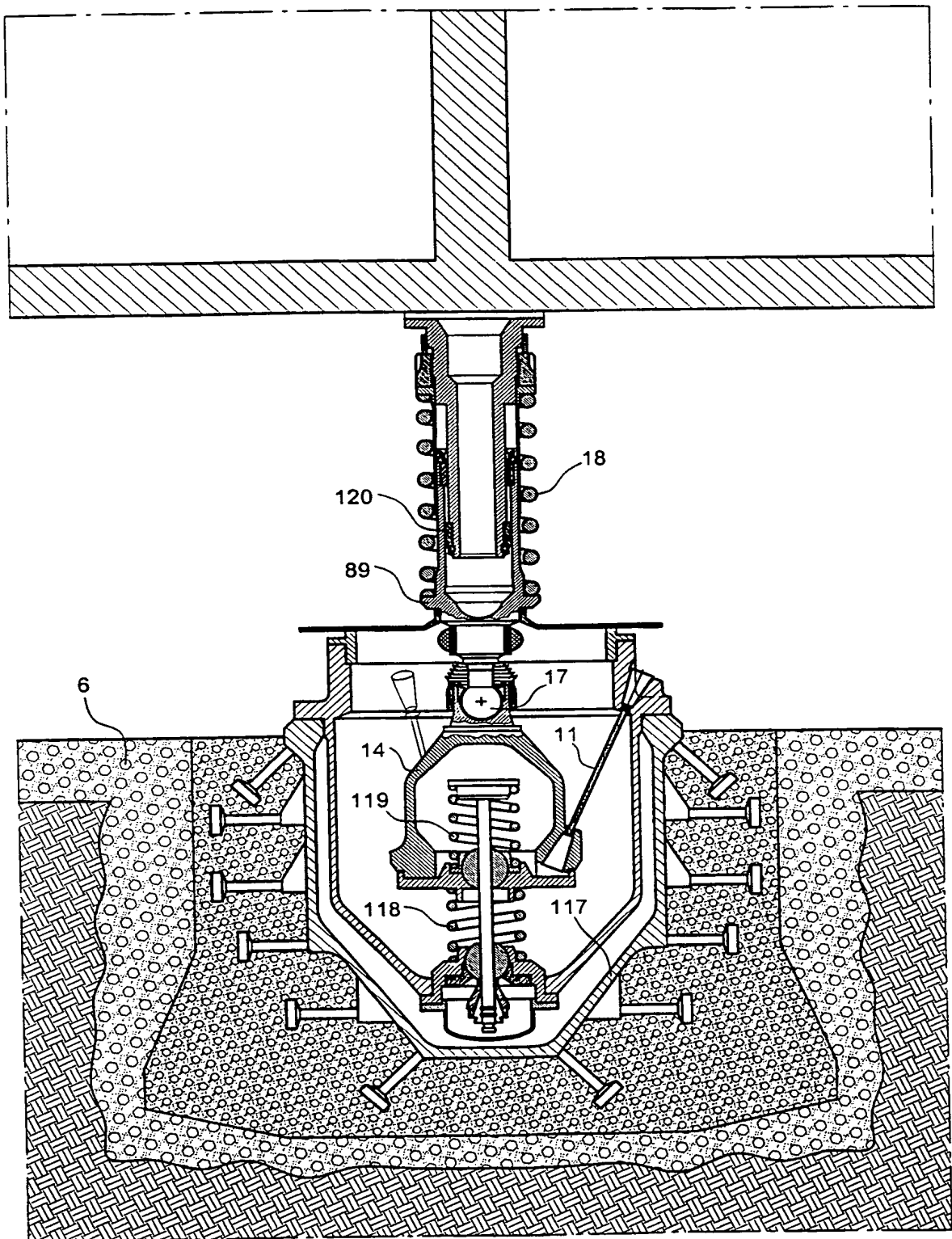


FIG. 65





66 /70

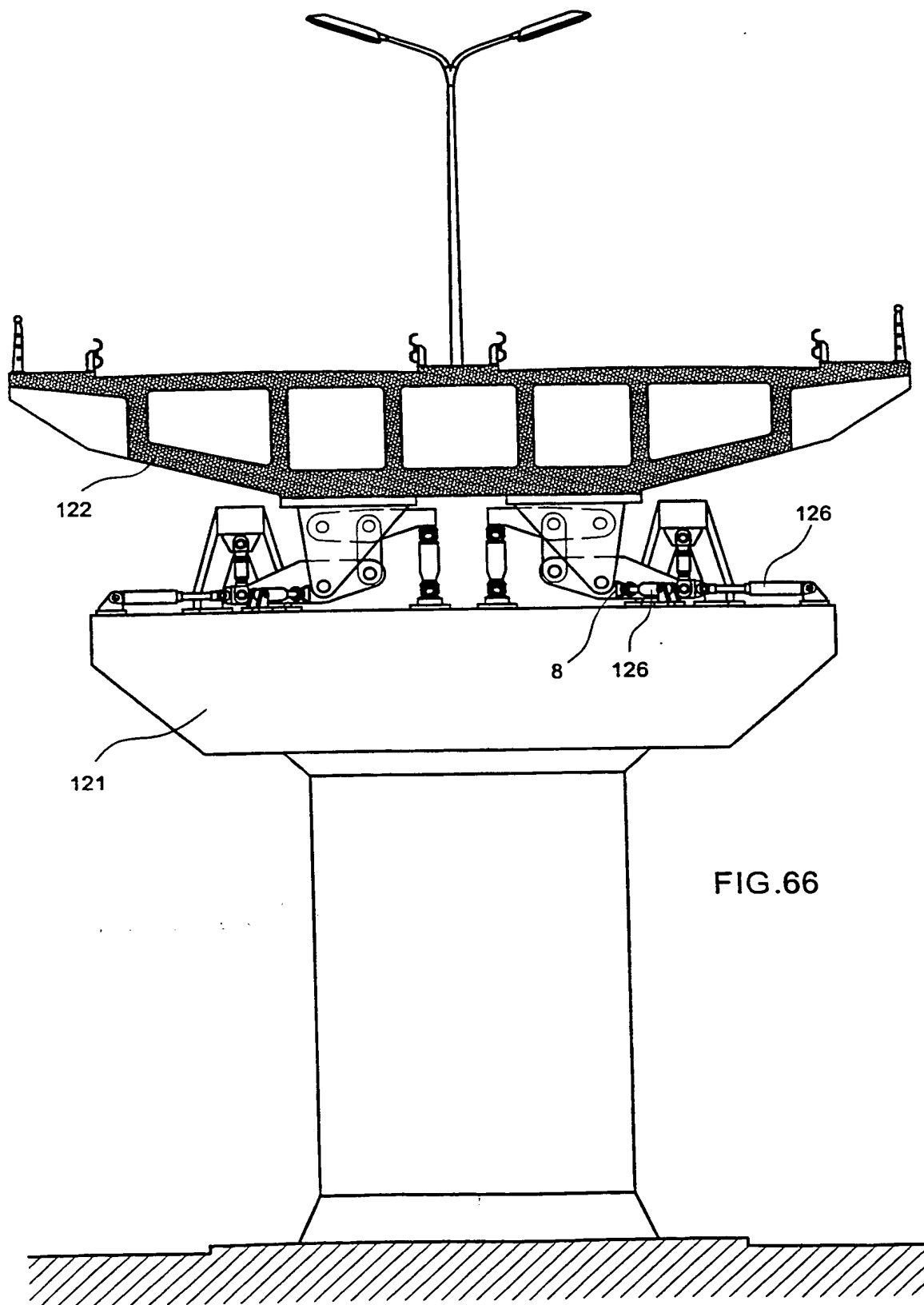


FIG.66

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

67 /70

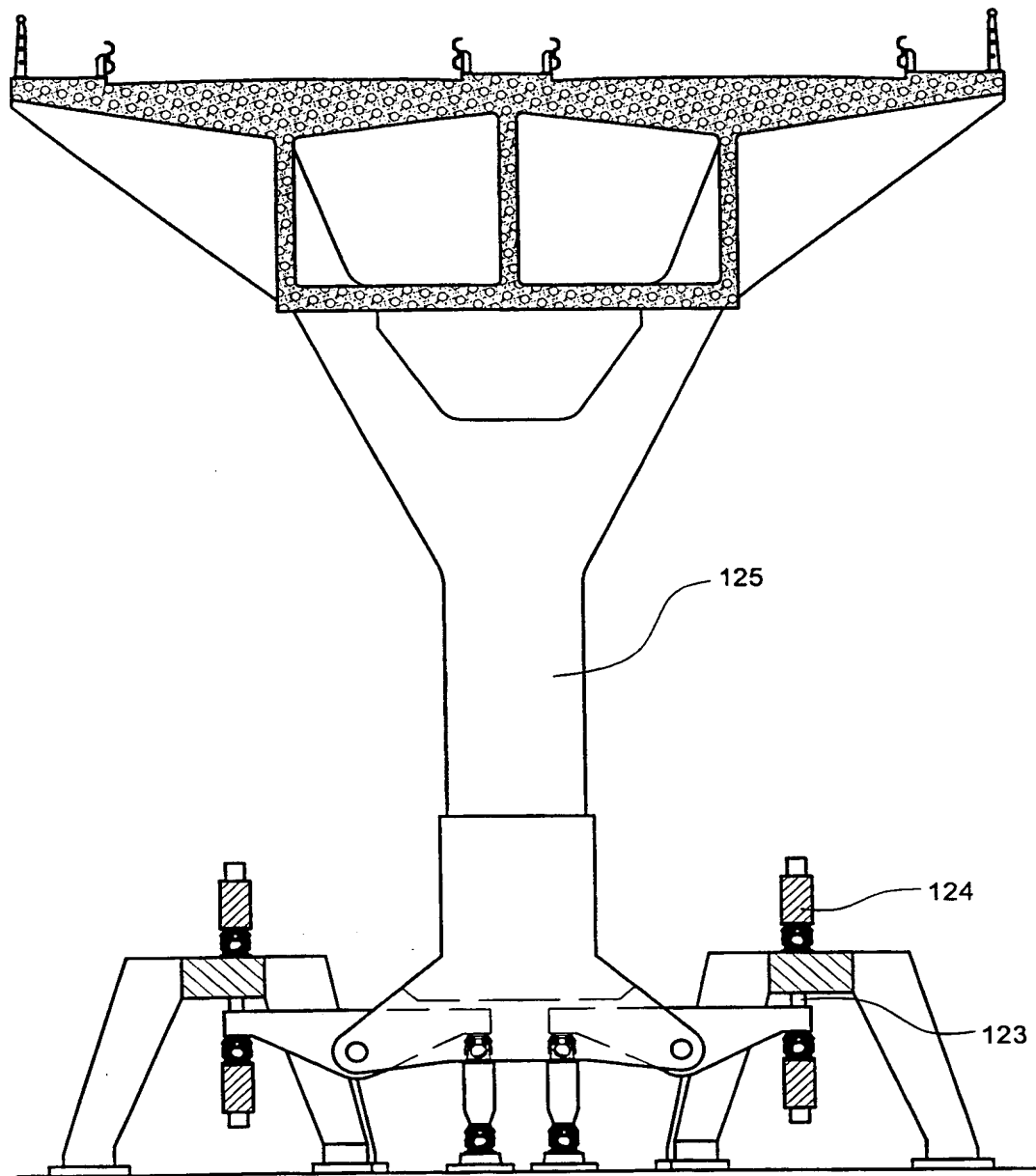
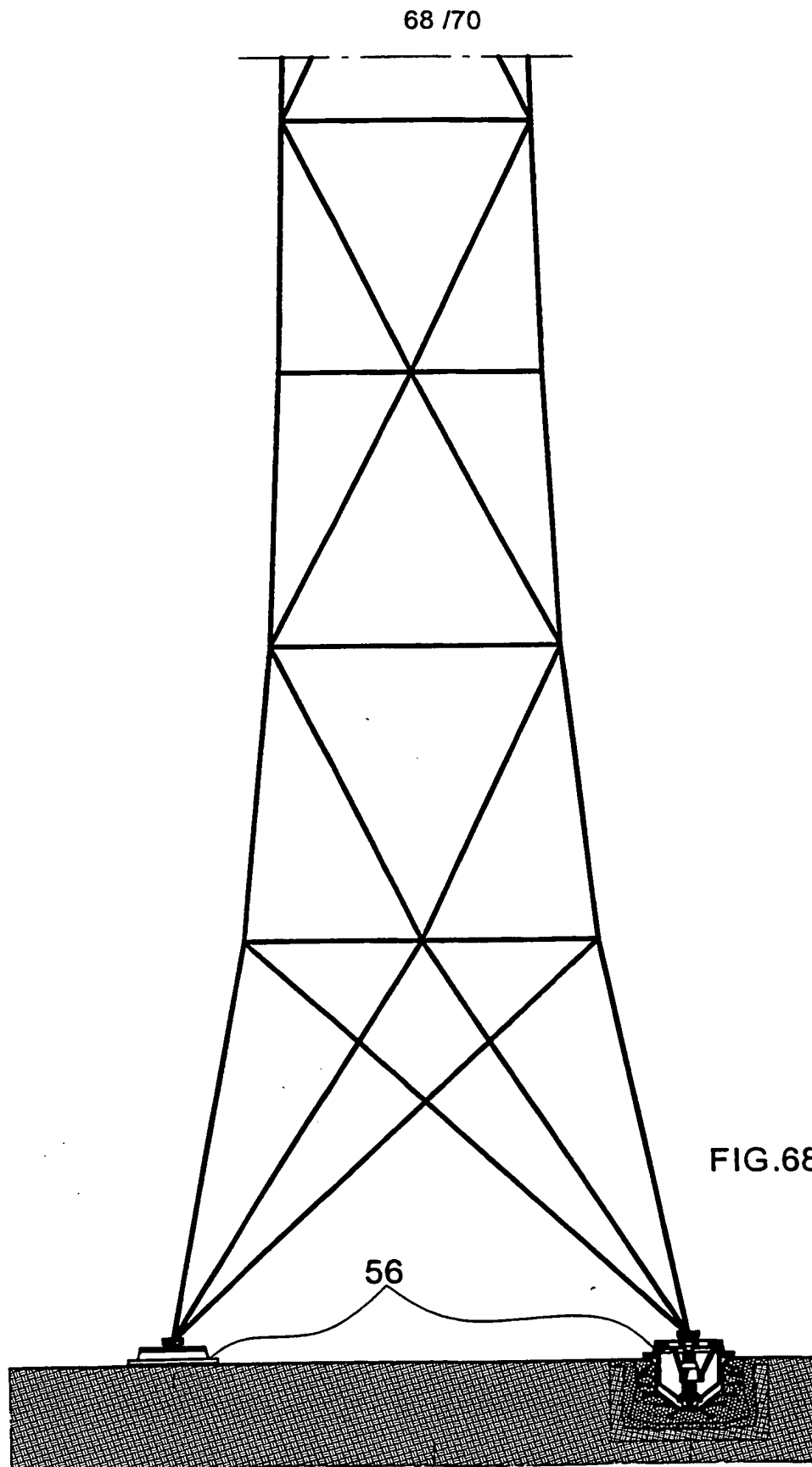


FIG.67

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

69 / 70

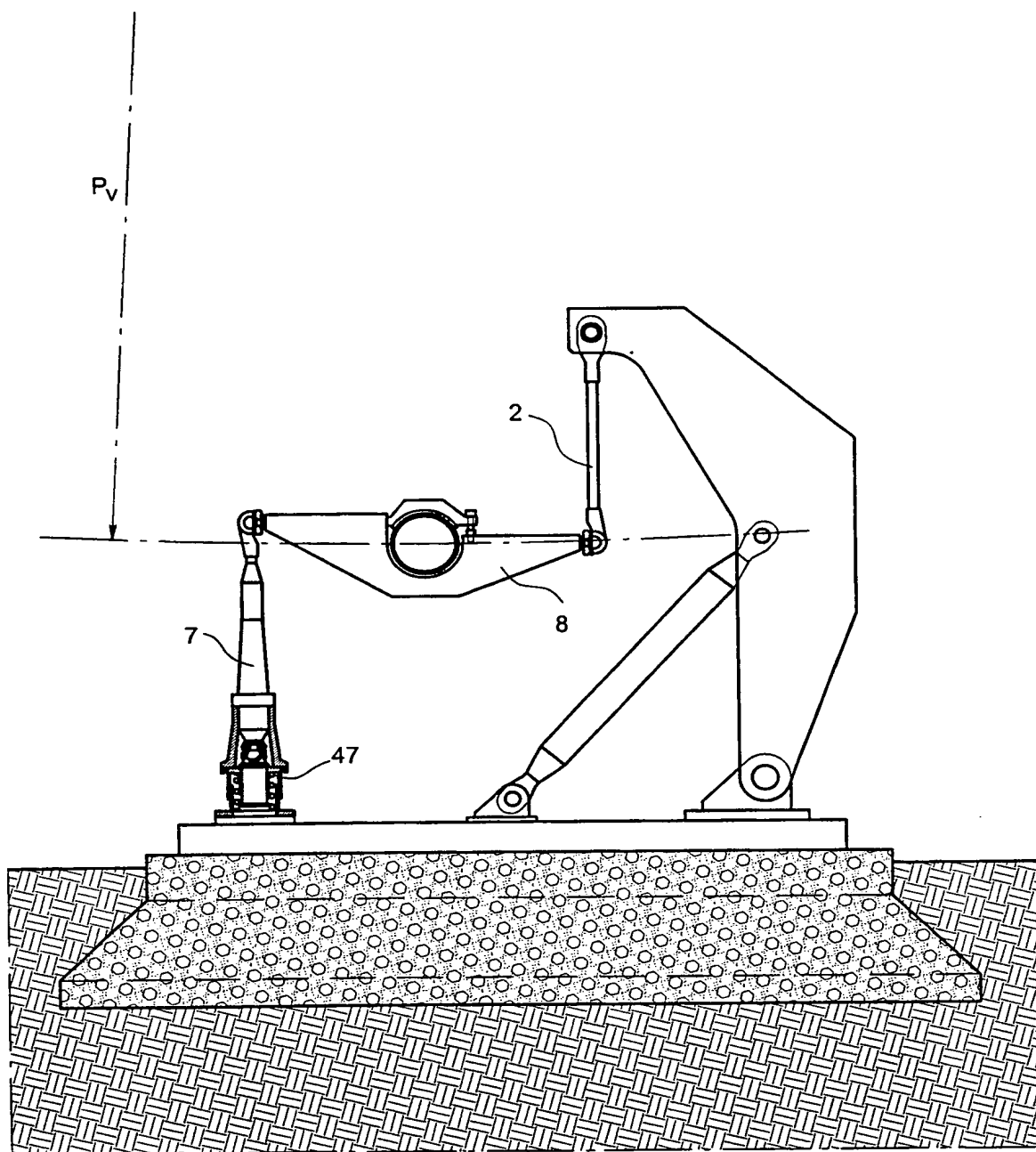


FIG. 69

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



70 / 70

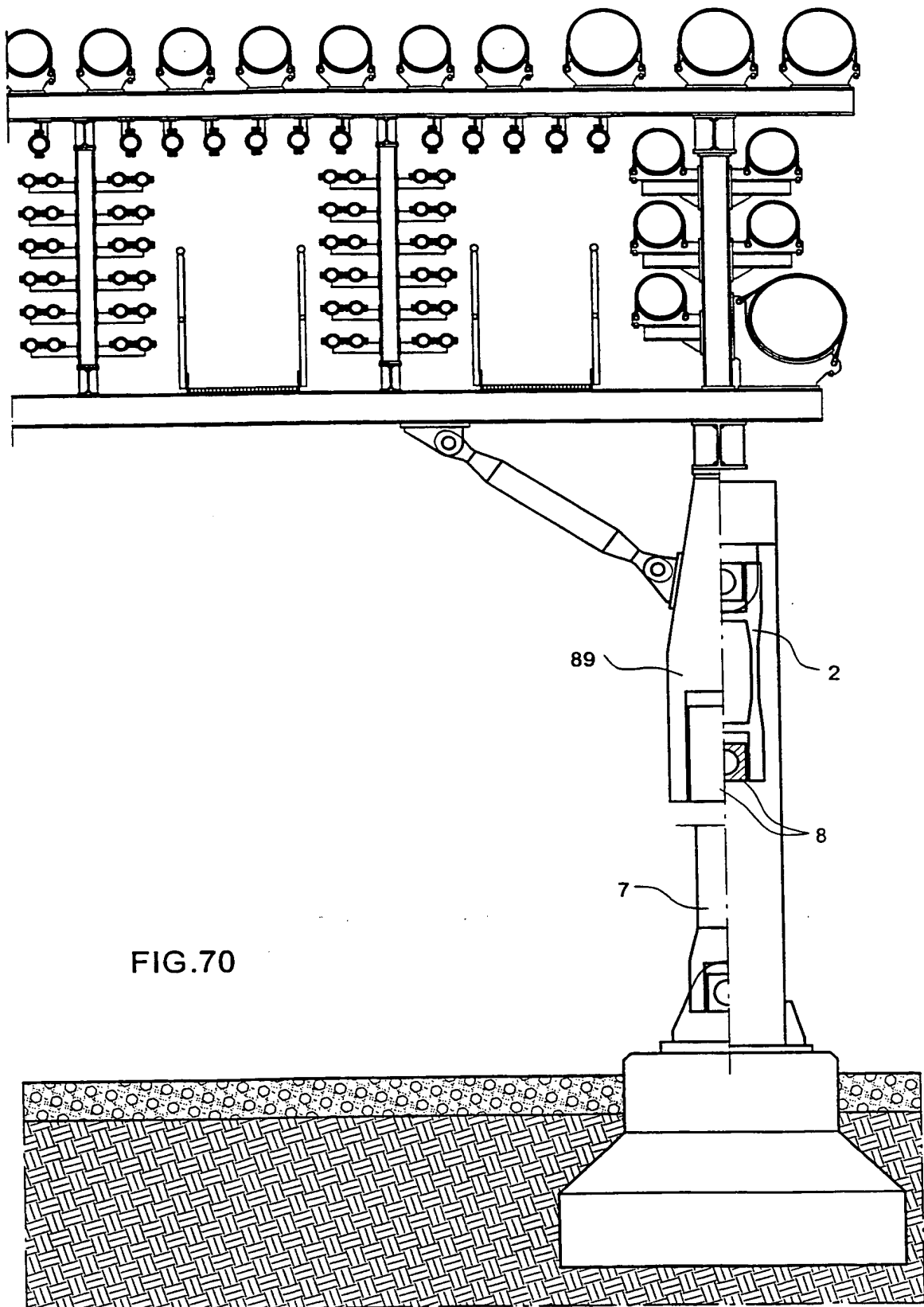


FIG.70

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 98/05158

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 6 E04H9/02 E02D27/34

According to International Patent Classification(IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 E04H E02D F16F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 328 648 A (KALPINS) 11 May 1982 cited in the application	2
A	see column 4, line 19 - column 7, line 16; figures 1-11	6,7
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 677 (M-1727), 20 December 1994 & JP 06 264960 A (KAJIMA CORP), 20 September 1994 see abstract	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

**\* Special categories of cited documents :**

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

24 November 1998.

Date of mailing of the international search report

01/12/1998

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.

Authorized officer

Karlsruhe .1

***This Page Blank (uspto)***

### Information on patent family members

PCT/EP 98/05158

NONE

***This Page Blank (uspto)***

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 98/05158

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 6 E04H9/02 E02D27/34

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 E04H E02D F16F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 328 648 A (KALPINS) 11. Mai 1982 in der Anmeldung erwähnt	2
A	siehe Spalte 4, Zeile 19 - Spalte 7, Zeile 16; Abbildungen 1-11	6,7
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 677 (M-1727), 20. Dezember 1994 & JP 06 264960 A (KAJIMA CORP), 20. September 1994 siehe Zusammenfassung	1

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

24. November 1998

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

01/12/1998

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040. Tx. 31 651 epo nl.

Bevollmächtigter Bediensteter

**This Page Blank (uspto)**



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 98/05158

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4328648      A	11-05-1982	KEINE	

**This Page Blank (uspto)**